



TUGAS AKHIR – RC14 – 1501

## **EVALUASI KAPASITAS DAN PELAYANAN GERBANG TOL WARU-TANJUNG PERAK**

ILHAM MUSTIKA AJI SUMANTRI  
NRP. 3110 100 048

Dosen Pembimbing I  
Ir. Hera Widyastuti, MT., Ph.D

Dosen Pembimbing II  
Budi Rahardjo, ST. MT

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



---

TUGAS AKHIR – RC14 – 1501

## **EVALUASI KAPASITAS DAN PELAYANAN GERBANG TOL WARU-TANJUNG PERAK**

ILHAM MUSTIKA AJI SUMANTRI  
NRP. 3110 100 048

Dosen Pembimbing I  
Ir. Hera Widyastuti, MT., Ph.D

Dosen Pembimbing II  
Budi Rahardjo, ST. MT

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT – RC14 – 1501

**EVALUATION OF CAPACITY AND SERVICES OF  
WARU-TANJUNG PERAK TOLL GATE**

ILHAM MUSTIKA AJI SUMANTRI  
NRP. 3110 100 048

Supervisor Lecture I  
Ir. Hera Widyastuti, MT., Ph.D

Supervisor Lecture II  
Budi Rahardjo, ST. MT

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT – RC14 – 1501

**EVALUATION OF CAPACITY AND SERVICES OF  
WARU-TANJUNG PERAK TOLL GATE**

ILHAM MUSTIKA AJI SUMANTRI  
NRP. 3110 100 048

Supervisor Lecture I  
Ir. Hera Widyastuti, MT., Ph.D

Supervisor Lecture II  
Budi Rahardjo, ST. MT

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

# **EVALUASI KAPASITAS DAN PELAYANAN GERBANG TOL WARU- TANJUNG PERAK**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada**

**Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:**

**ILHAM MUSTIKA AJI SUMANTRI  
NRP. 3110 100 048**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**

**1. Ir. Hera Widyastuti, MT, Ph.D  
NIP. 196008281987012001**

**2. Budi Rahardjo, ST, MT  
NIP. 197001152003121001**

**Surabaya, Januari 2016**



# **EVALUASI KAPASITAS DAN PELAYANAN GERBANG TOL WARU-TANJUNG PERAK**

**Nama Mahasiswa** : Ilham Mustika Aji Sumantri  
**NRP** : 3110 100 048  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSP-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Hera Widyastuti, MT., Ph.D  
Budi Rahardjo, ST, MT

## **Abstrak**

*Dari tahun ke tahun pertumbuhan lalu lintas di jalan tol Waru-Tanjung Perak ini meningkat dengan cukup besar sehingga sering terjadi antrian yang panjang pada gerbang-gerbang tol untuk memasuki jalan tol ini terutama pada jam-jam sibuk, kondisi ini masih bisa cukup teratasi karena saluran/gardu pelayanan yang ada masih mencukupi. Untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk melihat kapasitas dan tingkat kinerja gerbang tol Waru-Tanjung Perak apakah masih memadai untuk melayani pemakainya atau untuk melihat kemampuan pelayanan gerbang tol tersebut.*

*Metode antrian FIFO digunakan untuk menganalisa tingkat kedatangan, tingkat pelayanan, dan panjang antrian yang terjadi. Dari hasil survey didapatkan waktu pelayanan terlama adalah 10 detik/kendaraan. Dari hasil analisa didapatkan panjang*

*antrian terpanjang pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp = 19,78 m; Waru Utama = 17,53 m; Dupak 3 = 64,89 m.*

*Dari hasil analisis tingkat kedatangan, diketahui tingkat kedatangan pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp sebesar 261,83 smp/jam/gardu; pada gerbang tol Waru Utama sebesar 248,86 smp/jam/gardu; pada gerbang tol Dupak 3 sebesar 323,83 smp/jam/gardu.*

***Kata Kunci : Evaluasi, kapasitas dan pelayanan, tol Waru-Tanjung Perak***

## EVALUATION OF CAPACITY AND SERVICES OF WARU-TANJUNG PERAK TOLL GATE

**Student Name** : Ilham Mustika Aji Sumantri  
**NRP** : 3110 100 048  
**Department** : Teknik Sipil FTSP-ITS  
**Lecture** : Ir. Hera Widyastuti, MT., Ph.D  
Budi Rahardjo, ST, MT

### **Abstract**

*Every year growth of Waru-Tanjung Perak freeway traffic is increased with large enough so that frequent long queues at toll gates to enter this freeway, especially at rush hours, this condition can still be fairly resolved because the channel / substation existing services is still insufficient. It is necessary for research to see the capacities and performance levels of Waru-Tanjung Perak toll gate is still inadequate to serve the consumer or to see the ability to service of the toll gate.*

*FIFO queuing method is used to analyze the arrival rate, service level, and the long of the queues that occur. From the survey results obtained longest service time is 10 sec / vehicle. From the analysis results obtained the longest queue length at Waru 1 dan Ramp toll gate = 19,78 m; Waru Utama = 17,53 m; Dupak 3 = 64,89 m*



*From the analysis of the arrival rate, known arrival rate at Waru 1 dan Ramp toll gate amounted to 261,83 smp / hour / substations; at Waru Utama toll gate amounted to 248,86 smp / hour / substations; at Dupak 3 toll gate amounted to 323,83 smp / hour / substations.*

***Keywords : Evaluation, capacity and services, Waru-Tanjung Perak freeway***

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir yang berjudul “Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan Gerbang Tol Waru-Tanjung Perak” dapat diselesaikan.

Dalam terwujudnya Buku Tugas Akhir ini terdapat ucapan doa, untaian semangat dan nilai yang tak terhingga berupa bantuan dari pihak-pihak yang penulis berterimakasih kepadanya. Rasa terimakasih penulis sampaikan kepada :

1. Papa Kasno dan Mama Parsiyati, kedua orangtua ku yang hebat, Mas Rahman, Mbak Dewi, Mas Andre, Mbak Rezky, Kakak-kakakku, atas semua nikmat kasih sayang dan doa kalian dalam berbagai cara yang mampu kalian berikan.
2. Ibu Ir. Hera Widyastuti, MT., Ph.D dan Bapak Budi Rahardjo, ST, MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak-Ibu Dosen pengajar Jurusan Teknik Sipil ITS atas ilmu yang telah diajarkan serta perangkat karyawan yang turut membantu.
4. Fipriency Estria Wilda yang selalu memberikan dorongan semangat, doa, dan kesabaran selama pengerjaan Tugas Akhir ini
5. Rahmat Andi Yulianto, sepupu luar biasa atas segala bantuannya dan juga sepupu-sepupuku yang lainnya
6. Seluruh dulur-dulur Teknik Sipil ITS S-53 angkatan 2010, teruntuk Kamal, Nindy, Gorbachev, Chris, Adrian, Bombom, Fachmy, Yayok, Dio, Andrew, Adi, Ravi, Dimas, Mbod, Amel, Picu, Ramadhan, Yossi, Avis, Salim, Dony, Taufik, Eldana, Esti, Mega, Machdum, Faqih, Firmandhany dan karakter super lainnya.
7. Teman-teman SD Muhammadiyah 1-2 Taman, Reza, Ferina, Citra, Qorry, Hanum, dan yang lainnya
8. Seluruhnya yang telah membantu, dan yang belum sempat disebutkan.

Penyusunan Buku Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan dan perlu adanya perbaikan. Sehingga kritik dan saran yang membangun diperlukan dalam perbaikannya. Semoga Buku Tugas Akhir ini bermanfaat dan dapat menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>ABSTRAK</b>	i
<b>ABSTRAK BAHASA INGGRIS</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR</b>	v
<b>DAFTAR ISI</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xi
<b>DAFTAR TABEL</b>	xv

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1.	Latar Belakang	1
1.2.	Rumusan Masalah	3
1.3.	Tujuan	3
1.4.	Batasan Masalah	3
1.5.	Lokasi Studi	5

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

2.1.	Definisi Jalan Tol	11
2.2.	Jenis Kendaraan pada Jalan Tol	11
2.3.	Kapasitas Suatu Gerbang Tol	12
2.4.	Sistem Pembayaran Jalan Tol	13
2.5.	Pengertian Waktu Pelayanan	14
2.6.	Pelayanan Jalan Tol	14
2.7.	Teori Antrian	15
2.7.1	Proses pada Sistem Antrian	17
2.7.2	Karakteristik Sistem Antrian	20
2.7.2.1	Kedatangan Populasi	20
2.7.2.2	Tingkat Pelayanan ( $\mu$ )	23
2.7.2.3	Mekanisme dan Jumlah Gerbang Pelayanan	24
2.7.2.4	Disiplin Antrian	24
2.7.3	Parameter Antrian	26
2.7.3.1	Disiplin Antrian FIFO	27
2.7.3.2	Disiplin Antrian FVFS	28
2.8.	Proses Antrian	30



2.9.	Analisa Kebijakan .....	31
2.9.1	Kebijakan Menambah Pintu Tol .....	31
2.9.2	Kebijakan Mengurangi Waktu Pelayanan .....	31
2.9.3	Kebijakan Sistem Tandem.....	31
2.9.4	Kebijakan Sistem Pembayaran Tol Elektronik ...	32

### **BAB 3 METODOLOGI**

3.1	Studi Pustaka .....	33
3.2	Studi Awal .....	33
3.3	Penentuan Lokasi .....	34
3.4	Pengambilan Data Primer .....	34
3.5	Pengambilan Data Sekunder .....	34
3.6	Penyusunan Data .....	34
3.7	Pelaksanaan Pengumpulan Data .....	35
3.8	Bagan Alir .....	35

### **BAB 4 PENGUMPULAN DATA**

4.1	Umum .....	39
4.2	Data Primer .....	39
4.2.1	Waktu Kedatangan .....	39
4.2.2	Waktu Pelayanan .....	43
4.2.3	Panjang Antrian .....	44
4.3	Data Sekunder .....	45
4.3.1	Data Konfigurasi Gerbang Tol .....	45

### **BAB 5 ANALISA DATA**

5.1	Analisa Tingkat Kedatangan ( <i>Arrival Rate</i> ) .....	49
5.1.1	Menggunakan Jumlah Kendaraan .....	45
5.1.2	Menggunakan Satuan Mobil Penumpang .....	50
5.2	Analisa Waktu Pelayanan ( <i>Service Time</i> ) .....	53
5.2.1	Menggunakan Jumlah Kendaraan .....	53
5.2.2	Menggunakan Satuan Mobil Penumpang .....	54
5.3	Analisa Intensitas Lalu Lintas .....	58
5.3.1	Menggunakan Jumlah Kendaraan .....	59
5.3.2	Menggunakan Satuan Mobil Penumpang .....	68



5.4	Analisa Antrian pada Gerbang Tol .....	90
5.4.1	Menggunakan Jumlah Kendaraan .....	91
5.4.2	Menggunakan Satuan Mobil Penumpang .....	117
5.5	Sketsa Antrian .....	176

## **BAB 6 KESIMPULAN dan SARAN**

6.1	Kesimpulan .....	213
6.2	Saran .....	214

## **DAFTAR PUSTAKA .....**

215

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1:	Peta Jalan Tol Waru-Tanjung Perak .....	5
Gambar 1.2:	Konfigurasi Gerbang Tol Waru Utama .....	6
Gambar 1.3:	Konfigurasi Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp .....	7
Gambar 1.4:	Konfigurasi Gerbang Tol Dupak 3 .....	8
Gambar 2.1:	Model Single Channel-Single Phase .....	18
Gambar 2.2:	Model Single Channel-Multi Phase .....	18
Gambar 2.3:	Model Multi Channel-Single Phase .....	19
Gambar 2.4:	Model Multi Channel-Multi Phase .....	19
Gambar 3.1:	Bagan Alir ( <i>Flow Chart</i> ) .....	36
Gambar 4.1:	Konfigurasi Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp .....	36
Gambar 4.2:	Konfigurasi Gerbang Tol Waru Utama .....	36
Gambar 4.3:	Konfigurasi Gerbang Tol Dupak 3 .....	36
Gambar 5.1:	Grafik Frekuensi Kumulatif (%) Waktu Pelayanan Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp .....	53
Gambar 5.2:	Grafik Frekuensi Kumulatif (%) Waktu Pelayanan Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp .....	55
Gambar 5.3:	Grafik Frekuensi Kumulatif (%) Waktu Pelayanan Gerbang Tol Waru Utama .....	56
Gambar 5.4:	Grafik Frekuensi Kumulatif (%) Waktu Pelayanan Gerbang Tol Dupak 3 .....	57
Gambar 5.5:	Sketsa antrian gerbang tol Waru 1 dan Ramp kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 5,3 detik .....	179
Gambar 5.6 :	Sketsa antrian gerbang tol Waru 1 dan Ramp kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 5,3 detik .....	180
Gambar 5.7 :	Sketsa antrian gerbang tol Waru 1 dan Ramp kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 10 detik .....	183
Gambar 5.8 :	Sketsa antrian gerbang tol Waru 1 dan Ramp kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 10 detik .....	184

Gambar 5.9 : Sketsa antrian gerbang tol Waru 1 dan Ramp kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 13 detik .....	187
Gambar 5.10 : Sketsa antrian gerbang tol Waru 1 dan Ramp kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 13 detik .....	188
Gambar 5.11: Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 5,6 detik .....	191
Gambar 5.12: Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 5,6 detik .....	192
Gambar 5.13: Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 10 detik .....	195
Gambar 5.14: Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 10 detik .....	196
Gambar 5.15: Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 14 detik .....	199
Gambar 5.16: Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 14 detik .....	200
Gambar 5.17: Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 5,2 detik .....	203
Gambar 5.18: Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 5,2 detik .....	204
Gambar 5.19: Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 10 detik .....	207

Gambar 5.20: Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 10 detik	208
Gambar 5.21: Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 11 detik	211
Gambar 5.22: Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 11 detik	212



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1:	Golongan Jenis Kendaraan .....	11
Tabel 4.1:	Tingkat Kedatangan pada Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp .....	40
Tabel 4.2:	Tingkat Kedatangan pada Gerbang Tol Waru Utama .....	41
Tabel 4.3:	Tingkat Kedatangan pada Gerbang Tol Dupak 3 .....	42
Tabel 4.4:	Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp .....	43
Tabel 4.5:	Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Waru Utama .....	43
Tabel 4.6:	Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Dupak 3 .....	43
Tabel 4.7:	Panjang Antrian pada Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp .....	44
Tabel 4.8:	Panjang Antrian pada Gerbang Tol Waru Utama .....	44
Tabel 4.9:	Panjang Antrian pada Gerbang Tol Dupak 3 .....	44
Tabel 5.1:	Data Survey Tingkat Kedatangan Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Setelah Dikali dengan Ekivalensi Mobil Penumpang .....	49
Tabel 5.2:	Data Survey Tingkat Kedatangan Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Setelah Dikali dengan Ekivalensi Mobil Penumpang .....	50
Tabel 5.3:	Data Survey Tingkat Kedatangan Gerbang Tol Waru Utama Setelah Dikali dengan Ekivalensi Mobil Penumpang .....	51
Tabel 5.4:	Data Survey Tingkat Kedatangan Gerbang Tol Dupak 3 Setelah Dikali dengan Ekivalensi Mobil Penumpang .....	52



Tabel 5.5:	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik .....	92
Tabel 5.6:	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik .....	93
Tabel 5.7:	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik .....	94
Tabel 5.8:	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik .....	95
Tabel 5.9:	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik .....	96
Tabel 5.10:	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik .....	97
Tabel 5.11:	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik .....	98
Tabel 5.12:	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik .....	99
Tabel 5.13:	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik .....	101
Tabel 5.14:	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik .....	101
Tabel 5.15:	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik .....	103

Tabel 5.16: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik .....	103
Tabel 5.17: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik .....	105
Tabel 5.18: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik .....	106
Tabel 5.19: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 dtk .....	107
Tabel 5.20: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik .....	108
Tabel 5.21: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik .....	109
Tabel 5.22: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik .....	110
Tabel 5.23: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 detik .....	111
Tabel 5.24: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 detik .....	112
Tabel 5.25: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 detik .....	114
Tabel 5.26: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 detik .....	114

Tabel 5.27: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 detik .....	116
Tabel 5.28: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 detik .....	117
Tabel 5.29: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik .....	118
Tabel 5.30: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik .....	119
Tabel 5.31: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik .....	120
Tabel 5.32: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik .....	121
Tabel 5.33: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik .....	122
Tabel 5.34: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik .....	123
Tabel 5.35: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik .....	124
Tabel 5.36: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik .....	125
Tabel 5.37: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik .....	126



Tabel 5.38: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik .....	127
Tabel 5.39: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik .....	128
Tabel 5.40: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik .....	129
Tabel 5.41: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik .....	130
Tabel 5.42: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik .....	131
Tabel 5.43: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 dtk .....	132
Tabel 5.44: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik .....	133
Tabel 5.45: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik .....	134
Tabel 5.46: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik .....	135
Tabel 5.47: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 detik .....	136
Tabel 5.48: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 detik .....	137

Tabel 5.49: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 detik .....	137
Tabel 5.50: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 detik .....	138
Tabel 5.51: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik .....	139
Tabel 5.52: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik .....	140
Tabel 5.53: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik .....	141
Tabel 5.54: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik .....	142
Tabel 5.55: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik .....	143
Tabel 5.56: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik .....	144
Tabel 5.57: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik .....	145
Tabel 5.58: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik .....	146
Tabel 5.59: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik .....	147



Tabel 5.60: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik .....	148
Tabel 5.61: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik .....	149
Tabel 5.62: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik .....	150
Tabel 5.63: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik .....	151
Tabel 5.64: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik .....	152
Tabel 5.65: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik .....	153
Tabel 5.66: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik .....	154
Tabel 5.67: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik .....	155
Tabel 5.68: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik .....	156
Tabel 5.69: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 detik .....	157
Tabel 5.70: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 detik .....	158

Tabel 5.71: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 dtk .....	159
Tabel 5.72: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 detik .....	160
Tabel 5.73: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 dtk .....	161
Tabel 5.74: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 detik .....	162
Tabel 5.75: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik .....	163
Tabel 5.76: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik .....	164
Tabel 5.77: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik .....	166
Tabel 5.78: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik .....	167
Tabel 5.79: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik .....	169
Tabel 5.80: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik .....	170
Tabel 5.81: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik .....	172

Tabel 5.82: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik .....	173
Tabel 5.83: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik .....	175
Tabel 5.84: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5,3 detik .....	176
Tabel 5.85: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5,3 detik .....	178
Tabel 5.86: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik .....	178
Tabel 5.87: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik .....	182
Tabel 5.88: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 detik .....	182
Tabel 5.89: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 detik .....	186
Tabel 5.90: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5,6 detik .....	190
Tabel 5.91: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5,6 detik .....	190
Tabel 5.92: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik .....	194



Tabel 5.93: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik .....	194
Tabel 5.94: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 detik .....	198
Tabel 5.95: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 detik .....	198
Tabel 5.96: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5,2 detik .....	202
Tabel 5.97: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik .....	206
Tabel 5.98: Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik .....	210

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sektor transportasi, khususnya transportasi darat berperan besar dalam menentukan laju perekonomian dan tingkat kemakmuran masyarakat. Karena kelancaran arus kendaraan yang keluar-masuk ke dan dari suatu daerah dapat menjamin penyediaan kebutuhan akan barang dan jasa di wilayah tersebut. Seiring dengan hal tersebut telah dibangun jalan-jalan tol baik di dalam maupun di luar kota.

Jalan tol (*freeway*) adalah fasilitas jalan raya yang mempunyai dua lajur atau lebih di setiap arah agar lalu lintas berlangsung secara eksklusif, dengan pengendalian penuh atas akses keluar dan masuk. Dalam tingkatan jalan raya, jalan tol adalah satu-satunya fasilitas yang menyediakan arus bebas hambatan yang sempurna. Oleh sebab itu, untuk mewujudkan arus bebas hambatan yang sempurna, jalan tol harus memiliki tingkat pelayanan minimal yang mencakup kondisi jalan tol, kecepatan tempuh rata-rata, aksesibilitas, mobilitas dan keselamatan. Jalan tol tersusun atas tiga subkomponen, yaitu ruas jalan tol dasar, area percabangan, dan pintu (gerbang) tol.

Penyelenggaraan jalan tol dimaksudkan untuk mewujudkan pemerataan pembangunan dan hasil-hasilnya serta keseimbangan dalam pengembangan wilayah dengan memperhatikan keadilan, yang dapat dicapai dengan membina jaringan jalan yang dananya berasal dari pengguna jalan. Jalan tol juga bertujuan meningkatkan efisiensi pelayanan jasa distribusi guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi terutama di wilayah yang sudah tinggi tingkat perkembangannya (PP No. 15 tahun 2005 Bab 2 Pasal 2).

Mengingat fungsi jalan tol harus memberikan pelayanan berupa kelancaran arus kendaraan tanpa adanya hambatan yang



berarti, maka permasalahan-permasalahan yang mengakibatkan timbulnya kemacetan perlu diteliti lebih lanjut. Salah satu faktor yang sering menimbulkan kemacetan di jalan tol selain kondisi dan kapasitas jalan tol itu sendiri adalah proses antrian di gerbang tol. Pada saat pemrosesan di gerbang tol pengguna jalan tol diwajibkan mengambil tiket tanda masuk pada gerbang masuk dan membayar tol pada gerbang keluar. Dengan demikian lamanya pemrosesan di gerbang tol sangat mempengaruhi kelancaran arus kendaraan. Apabila gerbang tol yang dioperasikan tidak seimbang dengan jumlah arus kendaraan, maka kelancaran lalu lintas dapat terganggu. Jika terlalu sedikit dapat menimbulkan antrian yang panjang, tetapi jika terlalu banyak hanya menimbulkan biaya pengoperasian yang tinggi.

Tanjung Perak merupakan pelabuhan tersibuk kedua di Indonesia setelah Tanjung Priok di Jakarta. Pelabuhan ini juga menjadi pelabuhan utama serta sebagai pusat perdagangan di wilayah Indonesia Timur. Karena alasan itulah, maka jalan tol Waru-Tanjung Perak yang menghubungkan wilayah Sidoarjo dengan pelabuhan Tanjung Perak memiliki peranan yang penting dalam mendukung kelancaran arus keluar/masuk orang maupun barang yang terjadi.

Dari tahun ke tahun pertumbuhan lalu lintas di jalan tol Waru-Tanjung Perak ini meningkat dengan cukup besar sehingga sering terjadi antrian yang panjang pada gerbang-gerbang tol untuk memasuki jalan tol ini terutama pada jam-jam sibuk, kondisi ini masih bisa cukup teratasi karena saluran/gardu pelayanan yang ada masih mencukupi.

Tugas akhir ini mengevaluasi antrian yang terjadi pada gerbang tol dengan tingkat kedatangan kendaraan dan tingkat pelayanan gerbang. Maksud dari penelitian ini adalah untuk melihat kapasitas dan tingkat kinerja gerbang tol Waru-Tanjung Perak apakah masih memadai untuk melayani pemakainya atau untuk melihat kemampuan pelayanan gerbang tol saat ini dan juga

ditahun-tahun mendatang dalam menghadapi lonjakan arus jalan tol.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian di atas, maka muncul beberapa permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini antara lain:

1. Seberapa panjang antrian yang terjadi pada gardu tol dilihat dari tingkat kedatangan dan waktu pelayanan?
2. Apakah kapasitas gerbang tol Waru-Tanjung Perak telah memenuhi Standar Pelayanan Minimum (SPM) ?
3. Berapa jumlah gate yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan yang ada?
4. Bagaimana pelayanan yang diberikan operator gardu untuk mengurangi panjang antrian?

### **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui seberapa panjang antrian yang terjadi pada gardu tol dilihat dari tingkat kedatangan dan waktu pelayanan
2. Untuk mengetahui kapasitas gerbang tol Waru-Tanjung Perak telah memenuhi Standar Pelayanan Minimum (SPM) atau belum
3. Untuk mengetahui jumlah gate yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan yang ada
4. Untuk mengetahui pelayanan yang diberikan operator gardu untuk mengurangi panjang antrian

### **1.4 Batasan Masalah**

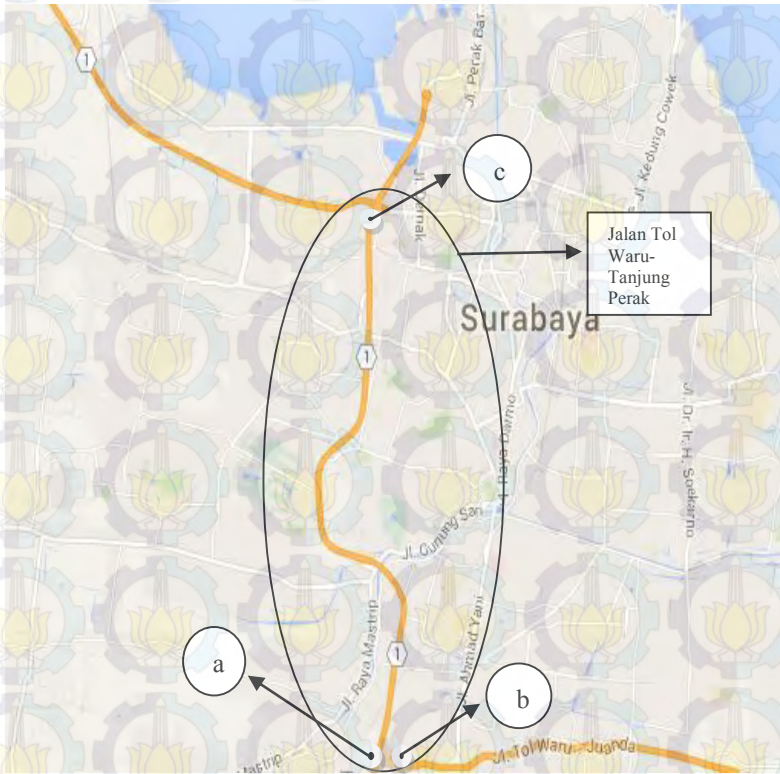
Agar penulisan tugas akhir ini tidak terjadi penyimpangan dalam pembahasan masalah, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Analisa waktu pelayanan gerbang tol terhadap lalu lintas yang memakainya mencakup lingkup pembahasan yang luas, oleh sebab itu arus kendaraan yang ditinjau yaitu:
  - a. Kendaraan yang masuk pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp
  - b. Kendaraan yang masuk dari arah Malang menuju Perak pada gerbang tol Waru Utama
  - c. Kendaraan yang masuk pada gerbang tol Dupak 3
2. Waktu pelayanan (service time) tersebut ditinjau saat mengadakan transaksi terhadap pemakai yang didukung berdasarkan jenis kendaraan dikaitkan dengan struktur loket pelayanan yang ada di tiap gardu pada lokasi yang akan diteliti. Dimana jenis kendaraan akan digolongkan dalam beberapa golongan:
  - a. Golongan I : Sedan, jip, pickup, bus kecil, truk kecil (3/4) dan bus
  - b. Golongan II : Truk dengan 2 (dua) gandar
  - c. Golongan III : Truk dengan 3 (tiga) gandar
  - d. Golongan IV : Truk dengan 4 (empat) gandar
  - e. Golongan V : Truk dengan 5 (lima) gandar atau lebih
3. Tidak membahas faktor yang menentukan kondisi akhir lalu lintas seperti kondisi jalan dan mobil (jenis kendaraan, muatan mobil) serta perilaku pengendara/profil pengendara (nominal pembayaran, kesiapan dalam membayar tol, usia pengemudi dan emosi pengemudi).



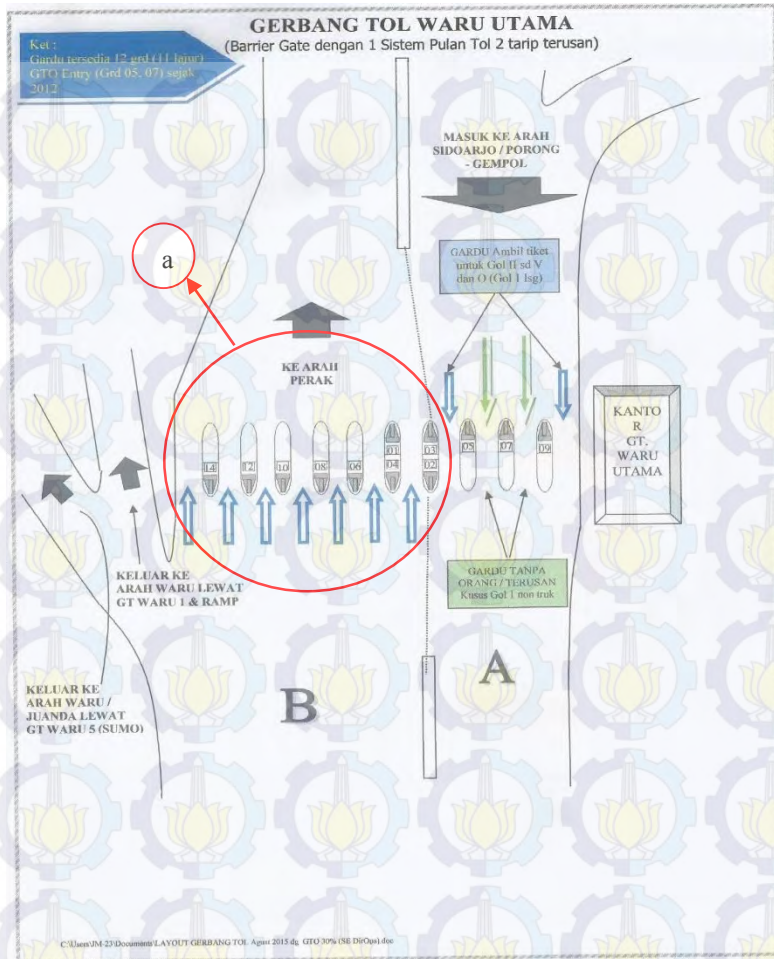
### 1.5 Lokasi Studi

Gerbang tol yang akan dievaluasi dalam tugas akhir ini adalah gerbang tol Waru-Tanjung Perak. Dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

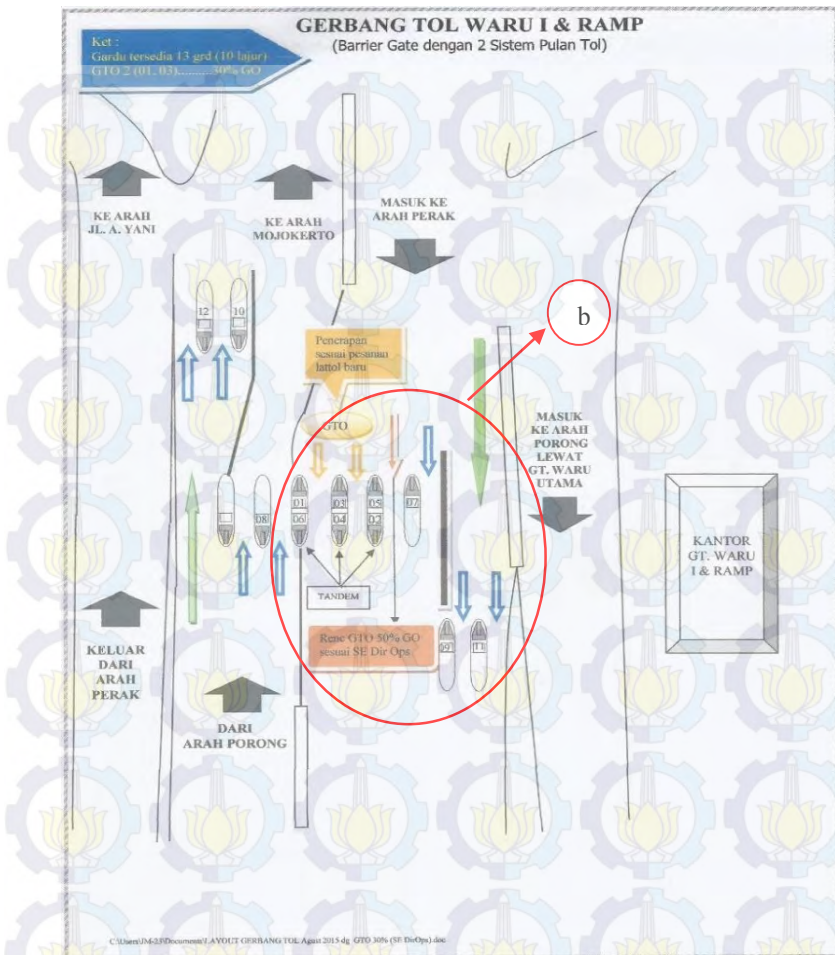


Gambar 1.1 Peta Jalan Tol Waru-Tanjung Perak  
(Sumber: google map, 27/2/2015)

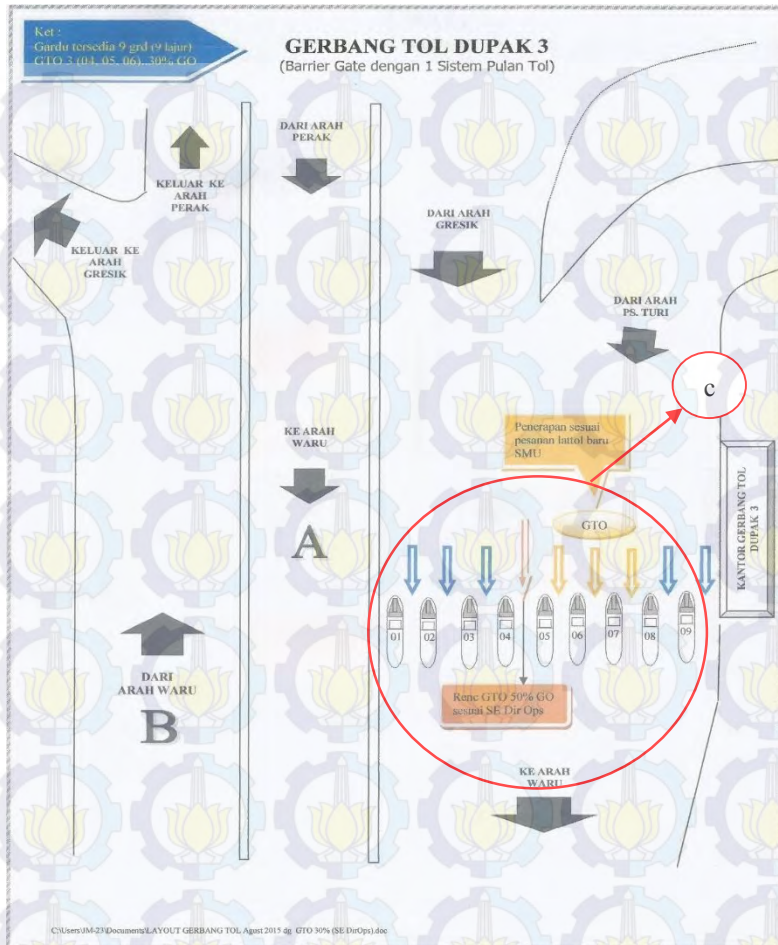




Gambar 1.2 Konfigurasi Gerbang Tol Waru Utama  
(Sumber: Jasa Marga)



Gambar 1.3 Konfigurasi Gerbang Tol Waru I & Ramp  
(Sumber: Jasa Marga)



Gambar 1.4 Konfigurasi Gerbang Tol Dupak 3  
(Sumber: Jasa Marga)

Keterangan :

- a = Gerbang Tol Waru Utama, gardu yang ditinjau adalah gardu dengan pergerakan kedatangan kendaraan dari arah Gempol menuju Perak.
- b = Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp, gardu yang ditinjau adalah gardu dengan pergerakan kedatangan kendaraan dari arah Krian menuju Perak.
- c = Gerbang Tol Dupak 3, gardu yang ditinjau adalah gardu dengan pergerakan kedatangan kendaraan dari arah Dupak menuju Waru.





## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi Jalan Tol**

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan, jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol. Sedangkan tol sendiri adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol. Jalan tol diselenggarakan untuk :

- a. Memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang;
- b. Meningkatkan hasil guna dan daya guna pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi;
- c. Meringankan beban dana pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan;
- d. Meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan.

Pengusahaan jalan tol dilakukan oleh badan usaha milik negara dan/atau badan usaha milik daerah dan/atau badan usaha milik swasta yang memenuhi persyaratan. Jalan tol harus mempunyai spesifikasi dan pelayanan yang lebih tinggi daripada jalan umum yang ada.

#### **2.2 Jenis Kendaraan pada Jalan Tol**

Menurut Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No.370 Tahun 2007 tentang Penetapan Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Ruas Jalan Tol Yang Sudah Beroperasi Dan Besarnya Tarif Tol Pada Beberapa Ruas Jalan Tol, golongan jenis kendaraan bermotor pada jalan tol yang sudah beroperasi adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.1:** Golongan Jenis Kendaraan Bermotor

<b>GOLONGAN</b>	<b>JENIS KENDARAAN</b>
-----------------	------------------------

Golongan I	Sedan, Jip, Pick Up/Truk Kecil, dan Bus
Golongan II	Truk dengan 2 (dua) gandar
Golongan III	Truk dengan 3 (tiga) gandar
Golongan IV	Truk dengan 4 (empat) gandar
Golongan V	Truk dengan 5 (lima) gandar atau lebih

### 2.3 Kapasitas Suatu Gerbang Tol

Kapasitas suatu gerbang tol dapat diperoleh berdasarkan hasil survey asal tujuan (*Origin – Destination*) dan sistem *Trial and error*, dimana data yang diperoleh biasanya digunakan untuk prediksi pada tahun-tahun yang akan datang. Akan tetapi jumlah data tersebut diperkirakan tidak lagi mampu menampung kapasitas pemakai jalan tol tersebut, sehingga hal ini dapat menimbulkan adanya penambahan kapasitas pintu tol.

Untuk mengatasi masalah penambahan kapasitas akibat jumlah pemakai jalan tol yang semakin bertambah, maka diperlukan suatu data mengenai kapasitas suatu gerbang tol. Pendataan jumlah kendaraan yang melewati jalan tol dapat dihitung. Besarnya kapasitas untuk gerbang tol berbeda-beda tergantung tingkat pelayanannya. Dengan tingkat pelayanan yang singkat dan tepat akan menambah besarnya kapasitas suatu gerbang tol.

Beberapa definisi mengenai kapasitas menurut beberapa ahli:

1. Wohl dan Martin, 1967, mendefinisikan kapasitas sebagai berikut:

*“The quantitative measurement of the volume (per unit of time) that a particular facility can accommodate (at the limit), and this usually provides a measure of maximum volume carrying capabilities”*

2. Highway Research Board, kapasitas didefinisikan sebagai:



*“The maximum number of vehicle that would have reasonable expectation of passing over a given roadway in given time period under the prevailing roadway and traffic conditions”*

Oleh karena itu, kapasitas gerbang tol dapat didefinisikan sebagai nilai maksimum dari jumlah kendaraan yang melewati suatu gerbang tol dalam periode waktu tertentu. Nilai maksimum tersebut dapat dipengaruhi beberapa faktor, yaitu jalan itu sendiri, kontrol operasional, fasilitas dari gerbang tol, kelakuan para pengemudi, tindakan petugas jalan tol, dan beberapa faktor lingkungan, seperti faktor cuaca. Selanjutnya parameter yang digunakan dalam penganalisaan kapasitas gerbang tol adalah komponen antrian, diantaranya panjang antrian dan waktu antrian. Sesuai Standar Pelayanan Minimum Jalan tol, jumlah kendaraan yang dapat dilayani untuk tiap gardu yang beroperasi pada sistem terbuka harus  $\leq 450$  kendaraan/jam per gardu (bpjt.pu.go.id, 2015)

## **2.4 Sistem Pembayaran Jalan Tol**

Ada 2 sistem pembayaran tol, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. Jalan tol Surabaya-Gempol merupakan jalan tol yang pertama kali di Indonesia mempergunakan 2 sistem pengoperasian terbuka dan tertutup sekaligus dalam satu ruas jalan dengan gerbang tol Waru sebagai gerbang batas/peralihan.

- **Sistem Terbuka**  
Ditetapkan pada ruas jalan tol di dalam kota (urban area) antara Waru-Tanjung Perak (12 km). Pemakai jalan hanya memasuki satu kali gerbang tol (yang berfungsi sebagai gerbang masuk dan keluar) membayar tol secara ‘lumpsum’ tanpa memperhitungkan jarak yang ditempuh.
- **Sistem Tertutup**  
Ditetapkan pada ruas jalan tol di luar kota (ruval area) antara Waru-Gempol sepanjang 25 km. Pemakai jalan



melewati gerbang tol masuk dengan menerima tiket masuk dan membayar pada saat keluar dari jalan tol.

## **2.5 Pengertian Waktu Pelayanan**

Terdapat beberapa cara untuk mendefinisikan waktu pelayanan, hal itu tergantung pada apa yang sedang dilayani. Pelayanan berarti suatu memberikan suatu kepuasan bagi si penerima jasa sebagai imbalan dari apa yang si penerima jasa berikan kepada pemberi jasa.

Waktu pelayanan adalah waktu yang diberikan dalam melayani penerima jasa secara efektif dan efisien, dengan waktu yang cepat dan tepat penerima jasa akan merasa puas.

Pertambahan volume lalu lintas yang memakai jalan tol akan menuntut pelayanan yang handal dari jalan tol tersebut sebagai imbalan dari sejumlah uang/tol yang mereka berikan. Target yang menjadi sasaran pelayanan jasa jalan tol terhadap pemakai jasa adalah kelancaran, keamanan dan kenyamanan. Untuk dapat mencapai sasaran tersebut, ditetapkan bahwa sebagai tolak ukur operasionalnya adalah berupa waktu pelayanan gardu, waktu tempuh jalan tol, tingkat kelancaran, tingkat fasilitas, tingkat keluhan pelanggan dan standar kerataan jalan.

Dalam hal ini dari pihak pemberi jasa harus mampu memberikan pelayanan prima kepada pemakai jasa jalan tol dengan mengetahui apa yang diinginkan oleh pemakai jalan tol. Kelancaran jalan tol dapat menggambarkan bagaimana sebenarnya peran jalan tol dalam menunjang sistem transportasi dan sektor ekonomi.

Sesuai Standar Pelayanan Minimal Jalan tol, waktu pelayanan pada sistem terbuka harus  $\leq 8$  detik/kendaraan (bpjt.pu.go.id, 2015)

## **2.6 Pelayanan Jalan Tol**

Pelayanan jalan tol terbagi tiga, yaitu:

1. Pelayanan Transaksi

## 2. Pelayanan Lalu Lintas

### 3. Pelayanan Terhadap Pemeliharaan

#### 1. Pelayanan Transaksi

Pelayanan transaksi terlihat jelas pada pengumpul tol karena langsung berhadapan dengan pengemudi. Jadi dengan adanya dinamika dan perkembangan tuntutan dari pemakai jalan tol, maka perlu diberikan *image* yang baik kepada masyarakat mengenai pelayanan saat melakukan transaksi. Pengumpul tol gerbang tol merupakan ujung tombak pelayanan jalan tol. Citra pelayanan di gerbang tol merupakan cerminan dari sebagian besar dari pelayanan yang diberikan.

#### 2. Pelayanan Lalu Lintas

Pelayanan lalu lintas yang dilakukan terhadap kendaraan yang melalui jalan tol. Pelayanan ini dapat dilihat dari kejadian-kejadian yang terjadi sepanjang jalan tol. Misalnya menurunkan angka kecelakaan pada jalan tol. Disediakannya fasilitas patroli, ambulans, pemadam kebakaran, dan kendaraan *recue* yang dapat digunakan pada saat pengguna jalan tol mengalami kesulitan. Juga penanggulangan wabah longsor/banjir yang terjadi pada beberapa bagian jalan tol.

#### 3. Pelayanan Terhadap Pemeliharaan

Pelayanan terhadap pemeliharaan dikelompokkan dalam tiga kategori, yaitu pemeliharaan rutin, pemeliharaan periodik, dan pemeliharaan khusus. Pemeliharaan rutin dilakukan setiap waktu-waktu tertentu terhadap seluruh aset jalan tol.

## 2.7 Teori Antrian

Teori antrian (*queueing*) sangat perlu dipelajari dalam usaha mengenal perilaku pergerakan arus lalu lintas baik manusia maupun kendaraan (Morlok, 1978 dan Hobbs, 1979). Hal ini

disebabkan sangat banyak kejadian yang terjadi di sektor transportasi dan permasalahan lalu lintas yang terjadi sehari-hari pada sistem jaringan jalan dapat dijelaskan dan dipecahkan dengan bantuan analisis teori antrian, seperti misalnya:

- antrian kendaraan yang terjadi di depan pintu gerbang tol atau antrian kendaraan yang terjadi pada setiap lengan persimpangan berlampu lalu lintas,
- antrian kendaraan truk pada saat bongkar/muat barang di pelabuhan,
- antrian kapal laut yang ingin merapat di dermaga,
- antrian manusia pada loket pembelian karcis di bandara, stasiun kereta api, dan lain-lain
- antrian manusia pada loket pelayanan bank, loket pembayaran listrik atau telepon, serta pasar swalayan.

Antrian tersebut pada dasarnya terjadi karena proses pergerakan arus lalu lintas (manusia dan/atau kendaraan) terganggu oleh adanya suatu kegiatan pelayanan yang harus dilalui, seperti misalnya: antrian kendaraan yang terbentuk di depan pintu gerbang tol terjadi karena pergerakan arus kendaraan tersebut terpaksa harus terganggu oleh adanya kegiatan pengambilan dan/atau pembayaran karcis tol. Kegiatan inilah yang menyebabkan gangguan pada proses pergerakan arus kendaraan sehingga mengakibatkan terjadinya antrian kendaraan dimana pada suatu kondisi, antrian kendaraan tersebut akan dapat mengakibatkan permasalahan baik buat pengguna (dalam bentuk waktu antrian) maupun buat pengelola (dalam bentuk panjang antrian).

Bagi pengguna biasanya hal yang selalu dipermasalahkan adalah waktu menunggu selama proses mengantri, setiap pengendara akan selalu berpikir bagaimana cara agar dapat menyelesaikan antrian ini secepatnya. Sedangkan bagi pengelola, hal yang selalu dipermasalahkan biasanya adalah panjang antrian yang terjadi. Sebagai contoh: antrian kendaraan yang terlalu panjang akan dapat menyebabkan tambahan permasalahan baru



berupa terganggunya sistem pergerakan arus lalu lintas lainnya akibat terhambat oleh antrian yang terlalu panjang tersebut.

Teori antrian merupakan suatu alat analisa yang sangat membantu di dalam memecahkan *problem* tersebut di atas. Teori ini memberikan informasi penting yang dibutuhkan dalam pengambilan keputusan dengan meramalkan berbagai karakteristik dengan sistem antrian tersebut. Jumlah rata-rata dari satuan (antrian dan pelayanan) adalah penting untuk mendimensi luas areal yang dibutuhkan.

### **2.7.1 Proses pada Sistem Antrian**

Sistem antrian adalah suatu sistem yang mencakup barisan dan gerbang pelayanan. Sedangkan populasi yang terbentuk dari waktu ke waktu berasal dari suatu sumber disebut *calling population*. Populasi tersebut datang ke sistem dan bergabung membentuk barisan antrian. Pada waktu tertentu, salah satu atau beberapa anggota dari barisan antrian tersebut dipilih untuk mendapat pelayanan. Pemilihan ini berdasarkan pada aturan-aturan tertentu yang disebut disiplin antrian. Populasi yang telah dilayani selanjutnya pergi meninggalkan gerbang pelayanan.

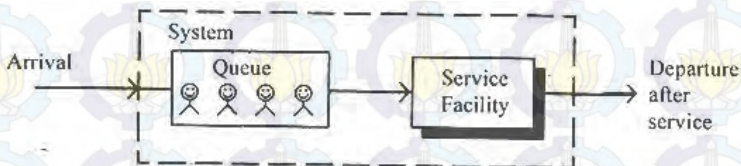
Struktur antrian dapat diklasifikasikan berdasarkan banyaknya gerbang atau jalur dan banyaknya tahap pelayanan yang ada. Tata letak fisik dari sistem antrian digambarkan dengan jumlah saluran, juga disebut sebagai pelayanan. Sistem antrian jalur tunggal (*single channel-single phase*) berarti bahwa dalam sistem antrian tersebut hanya terdapat satu pemberi layanan serta satu jenis layanan yang diberikan. Sementara sistem antrian jalur tunggal tahapan berganda (*single channel-multi phase*) berarti dalam sistem antrian tersebut terdapat lebih dari satu jenis layanan yang diberikan, tetapi dalam setiap jenis layanan hanya terdapat satu pemberi layanan. Sistem antrian jalur berganda satu tahap (*multi channel-single phase*) adalah terdapat satu jenis layanan dalam sistem antrian tersebut, namun terdapat lebih dari satu



penyedia layanan. Sedangkan sistem antrian jalur berganda dengan tahapan berganda (*multi channel-multi phase*) adalah sistem antrian dimana terdapat lebih dari satu jenis layanan dan terdapat lebih dari satu penyedia layanan dalam setiap jenis layanan. Dalam studi ini akan dibahas gerbang tunggal satu tahap (*single channel-single phase*) dan gerbang ganda satu tahap (*multi channel- single phase*).

#### A. *Single Channel-Single Phase*

Struktur antrian pada *single channel-single phase* ini hanya memiliki satu jalur pelayanan dan dalam jalur ini hanya memiliki satu tahap saja. Struktur ini sangat sederhana dan dapat dilihat pada gambar berikut:

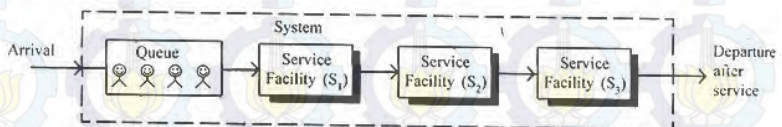


Gambar 2.1 Model Single Channel-Single Phase

(Sumber: <http://transtutors.com/homework-help/industrial-management/queuing-models/service-characteristics.aspx>)

#### B. *Single Channel-Multi Phase*

Struktur antrian pada *single channel-multi phase* ini hanya memiliki satu jalur pelayanan dan dalam jalur ini memiliki dua tahap (lebih dari satu layanan), tetapi dalam setiap jenis layanan hanya terdapat satu penyedia layanan.

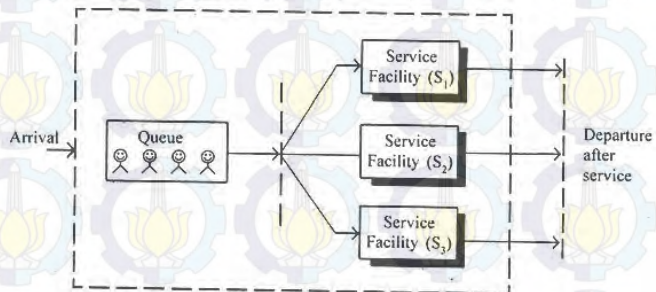


Gambar 2.2 Model Single Channel-Multi Phase

(Sumber: <http://transtutors.com/homework-help/industrial-management/queuing-models/service-characteristics.aspx>)

C. *Multi Channel-Single Phase*

*Multi Channel single phase* terjadi apabila dua atau lebih fasilitas pelayanan diakhiri oleh antrian tunggal. Sebagai contoh dari model ini adalah pembelian tiket yang dilayani oleh lebih dari satu loket.

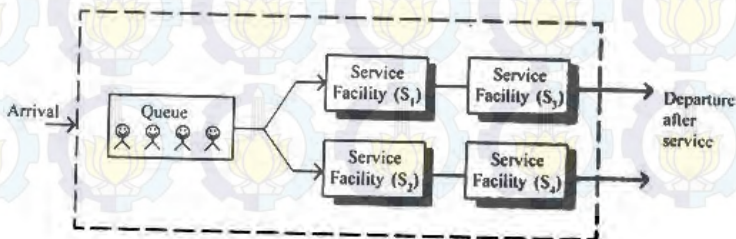


Gambar 2.3 Model Multi Channel-Single Phase

(Sumber: <http://transtutors.com/homework-help/industrial-management/queuing-models/service-characteristics.aspx>)

D. *Multi Channel-Multi Phase*

*Multi Channel-Multi Phase* terjadi apabila terdapat lebih dari satu jenis layanan dan terdapat lebih dari satu pemberi layanan dalam setiap jenis layanannya.



### Gambar 2.4 Model Multi Channel-Multi Phase

(Sumber: <http://transtutors.com/homework-help/industrial-management/queuing-models/service-characteristics.aspx>)

#### 2.7.2 Karakteristik Sistem Antrian

Karakteristik antrian adalah bahwa terdapat kedatangan, pelayanan, antrian. Untuk dapat menjelaskan proses antrian dengan baik, diperlukan penjelasan mengenai 4 (empat) komponen utama dalam teori antrian yang harus benar-benar diketahui dan dipahami, yaitu:

- Kedatangan populasi, yang meliputi tingkat kedatangan rata-rata dan probabilitas distribusi pelayanan.
- Tingkat pelayanan, yang meliputi tingkat layanan rata-rata dan probabilitas distribusi waktu pelayanan.
- Jumlah dan susunan gerbang pelayanan.
- Disiplin antrian, yaitu menentukan antrian dimana satuan lalu lintas yang akan dilayani.

Masing-masing komponen dalam sistem antrian tersebut mempunyai karakteristik sendiri-sendiri. Karakteristik dari masing-masing komponen tersebut adalah:

##### 2.7.2.1 Kedatangan Populasi (*calling population*)

Karakteristik dari populasi yang akan dilayani (*calling population*) dapat dilihat menurut ukurannya, pola kedatangan, serta perilaku dari populasi yang akan dilayani. Menurut ukurannya, populasi yang akan dilayani bisa terbatas (*finite*) bisa juga tidak terbatas (*infinite*). Sebagai contoh jumlah mahasiswa yang antri untuk registrasi di sebuah perguruan tinggi sudah diketahui jumlahnya (*finite*), sedangkan jumlah nasabah bank yang antri untuk setor, menarik tabungan, maupun membuka rekening baru bisa tak terbatas (*infinite*).  
(<http://sutanto.staff.uns.ac.id/files/2009/03/bab10a.pdf>)



Distribusi *headway* dari kedatangan lalu lintas, yang mungkin saja merata (yaitu dengan *headway* konstan) atau dapat mengikuti pola kedatangan acak (*Poisson*). Kedatangan yang teratur sering kita jumpai pada proses pembuatan/pengemasan produk yang sudah distandarisasi. Pada proses semacam ini, kedatangan produk untuk diproses pada bagian selanjutnya biasanya sudah ditentukan waktunya, misalnya setiap 30 detik. Sedangkan pola kedatangan yang sifatnya acak (random) banyak kita jumpai misalnya kedatangan nasabah di bank. Pola kedatangan yang sifatnya acak dapat digambarkan dengan distribusi statistik dan dapat ditentukan dengan dua cara yaitu kedatangan per satuan waktu dan distribusi waktu antar kedatangan.

Contoh : Kedatangan digambarkan dalam jumlah satu waktu, dan bila kedatangan terjadi secara acak, informasi yang penting adalah Probabilitas  $n$  kedatangan dalam periode waktu tertentu, dimana  $n = 0, 1, 2, \dots$

Jika kedatangan diasumsikan terjadi dengan kecepatan rata-rata yang konstan dan bebas satu sama lain disebut distribusi probabilitas Poisson. Ahli matematika dan fisika, Simeon Poisson (1781 – 1840), menemukan sejumlah aplikasi manajerial, seperti kedatangan pasien di RS, sambungan telepon melalui *central switching system*, kedatangan kendaraan di pintu tol, dan lain-lain. Semua kedatangan tersebut digambarkan dengan variabel acak yang terputus-putus dan nonnegatif integer (0, 1, 2, 3, 4, 5, dst ). Selama 10 menit mobil yang antri di pintu tol bisa 3, 5, 8, dst.

Ciri Distribusi Poisson :

1. Rata-rata jumlah kedatangan setiap interval waktu bisa diestimasi dari data sebelumnya.
2. Bila interval waktu diperkecil misalnya dari 10 menit menjadi 5 menit, maka pernyataan berikut ini benar:
  - a. Probabilitas bahwa seorang pasien datang merupakan angka yang sangat kecil dan konstan untuk setiap interval.



- b. Probabilitas bahwa 2 atau lebih pasien akan datang dalam waktu interval sangat kecil sehingga probabilitas untuk 2 atau lebih dikatakan 0 (nol)
- c. Jumlah pasien yang datang pada interval waktu bersifat independen
- d. Jumlah pasien yang datang pada satu interval tidak tergantung pada interval yang lain

Probabilitas  $n$  kedatangan dalam waktu  $T$  ditentukan dengan rumus:

$$P(r, T) = \frac{e^{-\lambda T} (\lambda T)^r}{r!} \quad (2.1)$$

dimana:

$\lambda$  = rata-rata kedatangan persatuan waktu

$T$  = periode waktu

$e$  = bilangan logaritma natural ( $e = 2,7182818$ )

$r$  = jumlah kedatangan dalam waktu  $T$ ; ( $n = 0, 1, 2, \dots$ )

$P(r, T)$  = probabilitas  $n$  kedatangan dalam waktu  $T$

Jika kedatangan mengikuti Distribusi Poisson dapat ditunjukkan secara matematis bahwa antar kedatangan akan terdistribusi sesuai dengan distribusi eksponensial.

$$P(s \leq t) = e^{-\lambda t}, \quad 0 \leq t \leq \infty \quad (2.2)$$

dimana:

$P(s \leq t)$  = probabilitas di mana waktu antar kedatangan persatuan waktu

$\lambda$  = rata-rata kedatangan persatuan waktu

$t$  = waktu rata-rata dalam sistem (dtk)

Suatu faktor yang mempengaruhi penilaian distribusi kedatangan adalah ukuran populasi panggilan

Perilaku kedatangan. Populasi yang akan dilayani mempunyai perilaku yang berbeda-beda dalam membentuk antrian. Ada tiga jenis perilaku : *reneging*, *balking*, dan *jockeying*. Reneging: menggambarkan situasi dimana seseorang masuk dalam antrian, namun belum memperoleh pelayanan, kemudian

meninggalkan tempat antrian tersebut. Balking: menggambarkan orang yang tidak masuk dalam antrian dan langsung meninggalkan tempat antrian. Jockeying: menggambarkan orang yang pindah-pindah antrian. (<http://sutanto.staff.uns.ac.id/files/2009/03/>)

### 2.7.2.2 Tingkat Pelayanan ( $\mu$ )

Tingkat pelayanan yang dinyatakan dengan notasi  $\mu$  adalah jumlah kendaraan atau manusia yang dapat dilayani oleh satu tempat pelayanan dalam satu satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam atau orang/menit.

Selain tingkat pelayanan, juga dikenal Waktu Pelayanan (WP) yang dapat didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh satu tempat pelayanan untuk dapat melayani satu kendaraan atau satu orang, biasa dinyatakan dalam satuan menit/kendaraan atau menit/orang, sehingga bisa disimpulkan bahwa:

$$WP = \frac{1}{\mu} \quad (2.3)$$

dimana :

WP = waktu pelayanan  
 $\mu$  = tingkat pelayanan

Selain itu dikenal juga notasi  $\rho$  yang didefinisikan sebagai nisbah antara tingkat kedatangan ( $\lambda$ ) dengan tingkat pelayanan ( $\mu$ ) dengan persyaratan bahwa nilai tersebut selalu harus lebih kecil dari 1.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1 \quad (2.4)$$

dimana :

$\rho$  = intensitas lalu lintas atau faktor pemakaian  
 $\lambda$  = tingkat kedatangan  
 $\mu$  = tingkat pelayanan

Jika nilai  $\rho > 1$ , hal ini berarti bahwa tingkat kedatangan lebih besar dari tingkat pelayanan. Jika hal ini terjadi, maka dapat dipastikan akan terjadi antrian yang akan selalu bertambah

panjang (tidak terhingga).  
(<https://sutrisnoadityo.wordpress.com/2013/10/12/teori-antrian/>)

### 2.7.2.3 Mekanisme dan Jumlah Gerbang Pelayanan

Mekanisme pelayanan terdiri dari satu atau lebih fasilitas yang seri. Setiap fasilitas dapat mempunyai satu atau lebih gerbang pelayanan yang paralel. Jika sistem mempunyai lebih dari satu fasilitas pelayanan maka populasi akan menerima pelayanan secara seri yaitu harus melewati rangkaian pelayanan lebih dahulu, baru boleh meninggalkan sistem. Jika sistem mempunyai lebih dari satu gerbang pelayanan yang paralel, maka beberapa populasi dapat melayani secara simultan.

Suatu model antrian disebut layanan tunggal, apabila sistem hanya mempunyai satu gerbang pelayanan dan disebut model pelayanan ganda apabila sistem mempunyai sejumlah satuan pelayanan paralel yang masing-masing dilayani oleh seperangkat pelayanan.

### 2.7.2.4 Disiplin Antrian

Disiplin antrian mempunyai pengertian tentang bagaimana tata cara kendaraan atau manusia mengantri. Ada dua klasifikasi dalam disiplin mengantri yaitu prioritas dan *first come first served*. Disiplin prioritas dikelompokkan menjadi dua, yaitu *preemptive* dan *non preemptive*. Disiplin *preemptive* menggambarkan situasi dimana pelayan sedang melayani seseorang, kemudian beralih melayani orang yang diprioritaskan meskipun belum selesai melayani orang sebelumnya. Sementara disiplin *non preemptive* menggambarkan situasi dimana pelayan akan menyelesaikan pelayanaanya baru kemudian beralih melayani orang yang diprioritaskan. Sedangkan disiplin *first come first served* menggambarkan bahwa orang yang lebih dahulu datang akan dilayani lebih dahulu. Beberapa jenis disiplin antrian yang sering



digunakan dalam bidang transportasi atau arus lalu lintas, adalah: (Tamin, 2003)

1. First In First Out (FIFO) atau First Come First Served (FCFS)

Disiplin antrian FIFO sangat sering digunakan dalam bidang transportasi dimana orang dan/atau kendaraan yang pertama tiba pada suatu tempat pelayanan akan dilayani pertama. Sebagai contoh disiplin FIFO yaitu antrian kendaraan yang terbentuk di depan pintu tol, atau antrian manusia pada loket pembayaran listrik atau telepon, dan banyak contoh-contoh lainnya.

2. First In Last Out (FILO) atau First Come Last Served (FCLS)

Disiplin FILO juga cukup sering digunakan di bidang transportasi dimana orang dan/atau kendaraan yang pertama tiba akan keluar paling akhir atau dilayani terakhir. Salah satu contoh disiplin FILO adalah: antrian kendaraan pada pelayanan feri di terminal penyeberangan (kendaraan yang pertama masuk ke feri, akan keluar terakhir, atau barang yang pertama masuk pada gudang pada saat pemuatan akan keluar terakhir pada saat pembongkaran), dan cukup banyak contoh lainnya.

3. First Vacant First Served (FVFS)

Disiplin antrian FVFS sangat sering digunakan pada beberapa loket pelayanan bank, loket pembayaran listrik atau telepon, dan banyak contoh lainnya. Dengan disiplin antrian FVFS ini, orang yang pertama tiba akan dilayani oleh tempat pelayanan yang pertama yang pertama kosong. Dalam kasus FVFS, hanya akan terbentuk 1 (satu) antrian tunggal saja, tetapi jumlah tempat pelayanan bisa lebih dari 1 (satu). Salah satu kelebihan utama dalam penerapan disiplin antrian



FVFS adalah hanya akan terbentuk 1 (satu) lajur antrian saja (lajur-tunggal). Pada prakteknya, antrian tersebut dapat digantikan dengan sistem kartu tunggu sehingga secara fisik antrian tersebut tidak perlu terbentuk, karena dapat digantikan dengan nomor urut kartu.

4. Priority Service (PS)  
prioritas pelayanan diberikan kepada pelanggan yang mempunyai prioritas lebih tinggi dibandingkan dengan pelanggan yang mempunyai prioritas lebih rendah, meskipun yang terakhir ini kemungkinan sudah lebih dahulu tiba dalam garis tunggu. Kejadian seperti ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa hal, misalnya seseorang yang dalam keadaan penyakit lebih berat dibanding dengan orang lain dalam suatu tempat praktek dokter.

### 2.7.3 Parameter Antrian

Terdapat 4 (empat) parameter utama yang selalu digunakan dalam menganalisis antrian, yaitu :  $n$  ,  $q$  ,  $d$ , dan  $w$ . Definisi dari setiap parameter tersebut adalah : (Tamin, 2003)

$n$  = jumlah kendaraan atau orang dalam sistem (kendaraan atau orang per satuan waktu)

$q$  = jumlah kendaraan atau orang dalam antrian (kendaraan atau orang per satuan waktu)

$d$  = waktu kendaraan atau orang dalam sistem (satuan waktu)

$w$  = waktu kendaraan atau orang dalam antrian (satuan waktu)

#### 2.7.3.1 Disiplin Antrian FIFO

Persamaan (2.5) – (2.8) berikut merupakan yang dapat digunakan untuk menghitung  $n$  ,  $q$  ,  $d$ , dan  $w$  untuk disiplin antrian FIFO. (Tamin, 2003)

$$n = \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)} \quad (2.5)$$

$$q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)} \quad (2.6)$$

$$d = \frac{1}{(\mu - \lambda)} \quad (2.7)$$

$$w = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = d - \frac{1}{\mu} \quad (2.8)$$

dimana:

$\lambda$  = tingkat kedatangan rata-rata

$\mu$  = tingkat pelayanan rata-rata

$\rho$  = intensitas lalu lintas atau faktor pemakaian =  $\frac{\lambda}{\mu}$

$n$  = jumlah kendaraan atau orang dalam sistem (kendaraan atau orang per satuan waktu)

$q$  = jumlah kendaraan atau orang dalam antrian (kendaraan atau orang per satuan waktu)

$d$  = waktu kendaraan atau orang dalam sistem (satuan waktu)

$w$  = waktu kendaraan atau orang dalam antrian (satuan waktu)

Beberapa asumsi yang diperlukan dalam penggunaan disiplin antrian FIFO adalah :

- Persamaan (2.5) – (2.8) hanya berlaku untuk lajur-tunggal dan dengan nilai  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$ . Jika nilai  $\rho > 1$ , maka diharuskan menambah beberapa lajur-tunggal (multilajur).
- Jika terdapat lebih dari 1 (satu) lajur (katakanlah N lajur), maka diasumsikan bahwa tingkat kedatangan ( $\lambda$ ) akan membagi dirinya secara merata untuk setiap lajur sebesar  $\frac{\lambda}{N}$  dimana N adalah jumlah lajur. Dengan demikian, dapat

diasumsikan akan terbentuk  $\underline{N}$  buah antrian berlajur-tunggal dimana setiap antrian berlajur-tunggal akan dapat menggunakan persamaan (2.5) – (2.8).

- c. Kendaraan yang sudah antri pada suatu lajur antrian diasumsikan tidak boleh berpindah antrian ke lajur lainnya.
- d. Waktu pelayanan antar tempat pelayanan diasumsikan relatif sama (atau dengan kata lain standar deviasi waktu pelayanan antartempat pelayanan relatif kecil).

### 2.7.3.2 Disiplin Antrian FVFS

Persamaan (2.9) – (2.13) berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung  $n$ ,  $q$ ,  $d$ , dan  $w$  untuk disiplin antrian FVFS. (Tamin, 2003)

$$p(0) = \frac{1}{\left[ \sum_{n=0}^{K-1} \frac{1}{n!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \left[ \frac{1}{K!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \left( \frac{K\mu}{K\mu - \lambda} \right) \right]} \quad (2.9)$$

Dimana  $p(0)$  adalah besarnya peluang terjadinya kondisi dimana tidak ada kendaraan dalam sistem antrian dan  $\underline{K}$  adalah jumlah tempat pelayanan.

$$n = \frac{\lambda \mu \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^K}{(K-1)!(K\mu - \lambda)^2} p(0) + \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.10)$$

$$q = \frac{\lambda \mu \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^K}{(K-1)!(K\mu - \lambda)^2} p(0) = n - \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.11)$$

$$d = \frac{\mu \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^K}{(K-1)!(K\mu - \lambda)^2} p(0) + \frac{1}{\mu} \quad (2.12)$$

$$w = \frac{\mu \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^K}{(K-1)!(K\mu - \lambda)^2} p(0) = d - \frac{1}{\mu} \quad (2.13)$$



dimana:

$\lambda$	= tingkat kedatangan rata-rata
$\mu$	= tingkat pelayanan rata-rata
$K$	= jumlah gerbang pelayanan
$p(0)$	= besarnya peluang terjadinya kondisi dimana tidak ada kendaraan dalam sistem antrian
$n$	= jumlah kendaraan atau orang dalam sistem (kendaraan atau orang per satuan waktu)
$q$	= jumlah kendaraan atau orang dalam antrian (kendaraan atau orang per satuan waktu)
$d$	= waktu kendaraan atau orang dalam sistem (satuan waktu)
$w$	= waktu kendaraan atau orang dalam antrian (satuan waktu)

Asumsi yang diperlukan dalam penggunaan disiplin antrian FVFS adalah terdapat hanya 1 (satu) antrian (lajur-tunggal) dimana kendaraan atau orang yang berada pada antrian terdepan akan dilayani oleh suatu tempat pelayanan yang pertama kosong (*vacant*).

Penurunan secara matematis untuk kondisi tetap ini disebut hasil-hasil (rumusan-rumusan) keadaan tetap (*steady state result*) yang berarti bahwa ini merupakan hasil yang diamati sesudah sistem beroperasi pada waktu yang lama hingga nilai rata-rata atau probabilitasnya tidak akan berubah. Persamaan tersebut diturunkan dari situasi dengan periode operasi tidak terhingga. Pendekatan dengan cara ini logis digunakan untuk evaluasi efektif berbagai segi perencanaan jalan tol.

## 2.8 Proses Antrian

Pada dasarnya untuk lebih memahami lebih lanjut mengenai antrian, hal utama yang sangat diperlukan adalah mengerti bagaimana sebenarnya proses terjadinya antrian. Proses terjadinya



antrian terdiri dari 4 (empat) tahap yang akan dijelaskan dengan menggunakan gambar berikut.

- a. Tahap I : tahap dimana arus lalu lintas (misalkan kendaraan) bergerak dengan kecepatan tertentu menuju suatu tempat pelayanan. Besarnya arus lalu lintas yang datang disebut dengan tingkat kedatangan ( $\lambda$ ). Jika digunakan disiplin antrian FIFO dan terdapat lebih dari 1 (satu) tempat pelayanan (multilajur) maka dapat diasumsikan bahwa tingkat kedatangan ( $\lambda$ ) tersebut akan membagi dirinya secara merata untuk setiap pelayanan sebesar  $\lambda/N$  dimana  $N$  adalah jumlah tempat pelayanan. Dengan demikian, dapat diasumsikan akan terbentuk  $N$  buah antrian berlajur-tunggal dimana setiap antrian berlajur-tunggal akan berlaku disiplin antrian FIFO.
- b. Tahap II : tahap dimana arus lalu lintas (kendaraan) mulai bergabung dengan antrian menunggu untuk dilayani. Jadi, waktu antrian dapat didefinisikan sebagai waktu sejak kendaraan mulai bergabung dengan antrian sampai dengan waktu kendaraan mulai dilayani oleh suatu tempat pelayanan.
- c. Tahap III : tahap dimana arus lalu lintas (kendaraan) dilayani oleh satu tempat pelayanan. Jadi, waktu pelayanan (WP) dapat didefinisikan sebagai waktu sejak dimulainya kendaraan dilayani sampai dengan waktu kendaraan selesai dilayani.
- d. Tahap IV : tahap dimana arus lalu lintas (kendaraan) meninggalkan tempat pelayanan melanjutkan perjalanannya.

Gabungan tahap II dan III disebut **sistem antrian**. Jadi **waktu dalam sistem antrian** dapat didefinisikan sebagai waktu sejak kendaraan mulai bergabung dengan antrian sampai dengan waktu kendaraan selesai dilayani (atau meninggalkan waktu pelayanan).

## **2.9 Analisa Kebijakan**

Dalam usaha untuk meminimumkan nilai  $n$ ,  $q$ ,  $d$ , dan  $w$ , terdapat beberapa kebijakan yang dapat dilakukan, yaitu :

- a. Kebijakan menambah pintu tol
- b. Kebijakan mengurangi waktu pelayanan
- c. Kebijakan sistem tandem
- d. Kebijakan system pembayaran tol elektronik

### **2.9.1 Kebijakan Menambah Pintu Tol**

Kebijakan menambah pintu tol merupakan suatu kebijakan yang berbiaya besar, karena penambahan pintu berarti menambah lahan baru untuk pintu tol tersebut, menambah bangunan pintu tol, peralatan baru, tenaga manusia, dan cukup banyak biaya terkait lainnya. Permasalahan lahan merupakan permasalahan kritis bagi daerah perkotaan, karena ketersediaan lahan yang sudah sangat terbatas dan harga lahan yang sudah sangat mahal tentunya.

### **2.9.2 Kebijakan Mengurangi Waktu Pelayanan**

Kebijakan ini merupakan pilihan terbaik, karena dapat dikatakan tidak membutuhkan biaya besar (mungkin hanya berupa dana insentif bagi karyawan yang dapat menurunkan waktu pelayanan). Akan tetapi, waktu pelayanan tersebut hanya bisa ditekan seminimal mungkin, tidak bisa dihilangkan sama sekali.

### **2.9.3 Kebijakan Sistem Tandem**

Kebijakan sistem tandem merupakan usaha untuk meningkatkan kinerja pintu tol, karena dapat menurunkan waktu pelayanan sampai 50% (Morlok,1978 dan Hobbs,1079). Sebagai ilustrasi dengan waktu pelayanan 10 detik, tanpa sistem tandem pintu tol tersebut hanya dapat melayani 1 (satu) buah kendaraan dalam 10 detik. Akan tetapi dengan sistem tandem, dalam 10 detik yang sama pintu tol tersebut akan dapat melayani 2 (dua) buah

kendaraan sekaligus. Sehingga, dapat dikatakan bahwa waktu pelayanan seakan-akan dapat ditekan menjadi 5 detik.

Akan tetapi, penggunaan sistem tandem hanya akan menguntungkan dengan persyaratan bahwa pelayanan kendaraan tersebut harus relatif sama. Jika tidak sama, maka dampaknya akan jauh lebih merugikan dari sistem antrian biasa.

#### **2.9.4 Kebijakan Sistem Pembayaran Tol Elektronik**

Pembayaran tol elektronik, adalah sebuah adaptasi dari teknologi militer identifikasi teman atau lawan, yang bertujuan untuk menghilangkan kemacetan di jalan tol. Metode tersebut merupakan implementasi teknologi konsep pembayaran jalan dan menentukan apakah mobil-mobil yang melewati terdaftar dalam program, alarm bagi yang tidak terdaftar, dan mendebit secara elektronik rekening dari mobil terdaftar tanpa harus berhenti, atau membuka jendela. ETC (*Electronic Tol Collection*) pertama kali diperkenalkan pada 1987 di Aalesund, Norwegia.

Penggunaan teknologi sistem pembayaran elektronik seperti penggunaan *smart card* sebagai alat pembayaran sudah digunakan pada ruas tol di Singapura dan Malaysia. Dengan kartu ini, pengguna jalan tol tidak perlu membayar tiket di gerbang tol tujuan, tetapi cukup menyentuh kartu ke sensor (*touch and pass*) sehingga secara langsung akan mendebit biaya tol. Pengguna tol tidak perlu lagi berhenti lama untuk membayar tol namun secara otomatis mengurangi *account* yang dimiliki pengguna tol melalui mekanisme *scanning* yang sangat cepat. Smart card seperti ini di negara maju digunakan tidak hanya untuk pembayaran suatu ruas jalan tol, tetapi juga digunakan untuk berbagai keperluan transportasi, misalnya bisa digunakan untuk kereta api, parkir dan sebagainya.



## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Studi Pustaka**

Adapun studi pustaka dari penelitian ini adalah mengenai teori antrian, seperti yang sudah diuraikan sebelumnya. Dimana kendaraan yang ditinjau diklasifikasikan ke dalam:

- Golongan I :  
Sedan, jip, pick up, bus kecil, truk kecil (3/4) dan bus
- Golongan II :  
Truk dengan 2 (dua) gandar
- Golongan III :  
Truk dengan 3 (tiga) gandar
- Golongan IV :  
Truk dengan 4 (empat) gandar
- Golongan V :  
Truk dengan 5 (lima) gandar atau lebih

Dan yang dicatat adalah :

1. Tingkat kedatangan (  $\lambda$  )
2. Tingkat pelayanan (  $\mu$  )
3. Panjang antrian (  $q$  )
4. Waktu pelayanan / service time (  $t$  )

### **3.2 Studi Awal**

Sebelum melakukan survei ke lapangan perlu dilakukan suatu survei awal untuk melihat situasi/kondisi di gerbang tol tersebut. Dimana survei ini dibutuhkan untuk mengetahui jam-jam puncak (*peak hour*) atau saat-saat kapan saja terjadi antrian di gerbang tol dan untuk menentukan gerbang tol yang akan ditinjau.



### 3.3 Penentuan Lokasi

Setelah dilakukan survei awal, maka dapat ditentukan lokasi/gerbang tol yang akan ditinjau.

### 3.4 Pengambilan Data Primer

Pengambilan data primer dilakukan langsung dilapangan dengan mengadakan survei lapangan. Survei dilakukan pada tiap gardu masuk yang beroperasi di Gerbang Tol Waru-Tanjung Perak. Data-data yang diambil sewaktu melakukan survei adalah :

- Waktu pelayanan (service time), dilakukan pada saat kendaraan berhenti di depan gardu (loket) untuk mengadakan transaksi (saat pembayaran tol sedang berlangsung) sampai kendaraan tersebut bergerak meninggalkan gardu
- Panjang antrian, dilakukan dengan mengukur panjang antrian yang terjadi sesaat setelah kendaraan berada tepat di depan gardu untuk melakukan transaksi
- Tingkat kedatangan, dilakukan dengan menghitung jumlah kendaraan yang datang tiap 15 menit

### 3.5 Pengambilan Data Sekunder

Pengambilan data sekunder, diperoleh dari pihak PT. Jasa Marga selaku pengelola jalan tol Waru-Tanjung Perak. Data yang diambil adalah data-data yang berhubungan dengan tugas akhir ini.

### 3.6 Penyusunan Data

Setelah formulir data diisi dengan lengkap maka data-data tersebut disusun ke dalam komputer dengan menggunakan Microsoft Exel sebagai data base. Pada data base tersebut semua informasi yang diperoleh dari survei disusun ke dalam bentuk tabel. Adapun data-data yang disusun adalah :

1. Tingkat kedatangan ( $\lambda$ )
2. Tingkat pelayanan ( $\mu$ )

3. Panjang antrian (  $q$  )
4. Waktu pelayanan / service time (  $t$  )

### 3.7 Pelaksanaan Pengumpulan Data

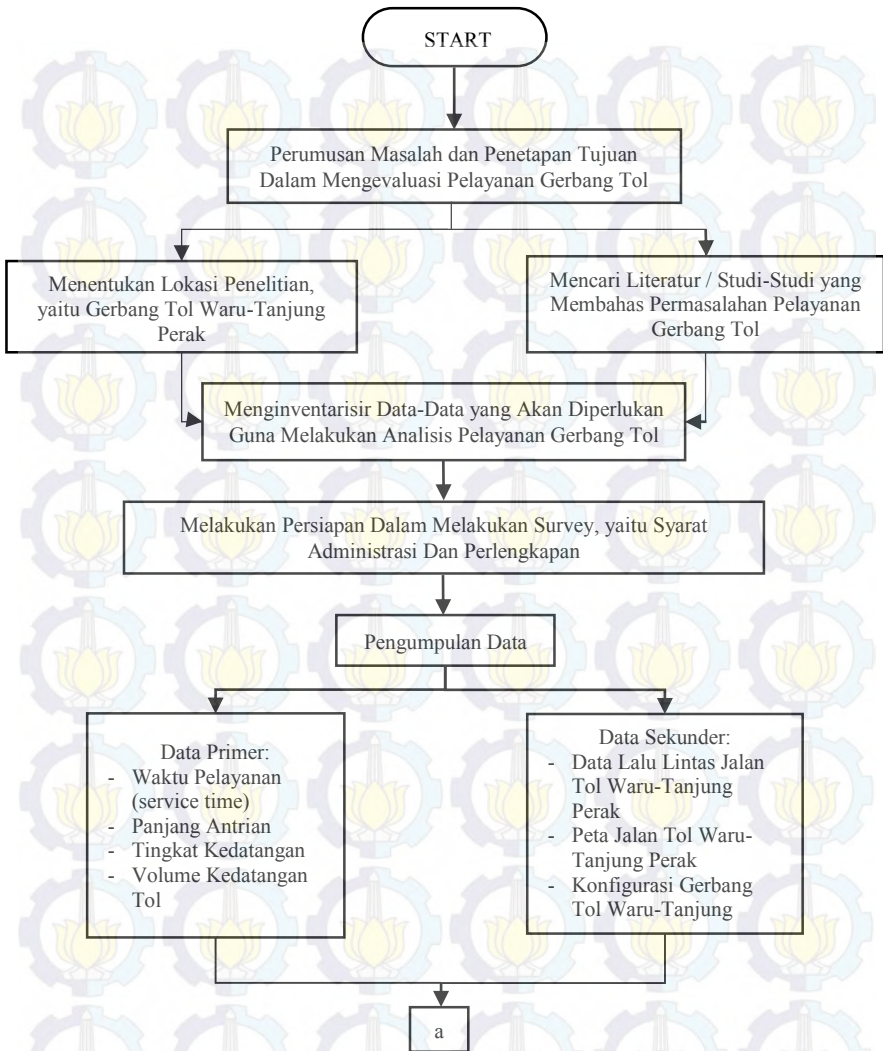
Data-data yang dibutuhkan untuk penelitian langsung diambil di lapangan dengan mengadakan survei lapangan. Survei dilakukan di gerbang tol yang dijadikan objek penelitian yaitu Gerbang Tol Waru-Tanjung Perak.

Pengambilan waktu pelayanan (*service time*) dilakukan pada saat kendaraan berhenti di depan gardu (loket) untuk mengadakan transaksi (saat pembayaran tol sedang berlangsung) sampai kendaraan tersebut bergerak meninggalkan gardu. Waktu pelayanan dihitung dengan menggunakan *stopwatch*, dan mulai dihitung ketika pengemudi menyerahkan uang dan karcis tol sampai petugas mengembalikan uang kembali dan bukti tol kepada pengemudi.

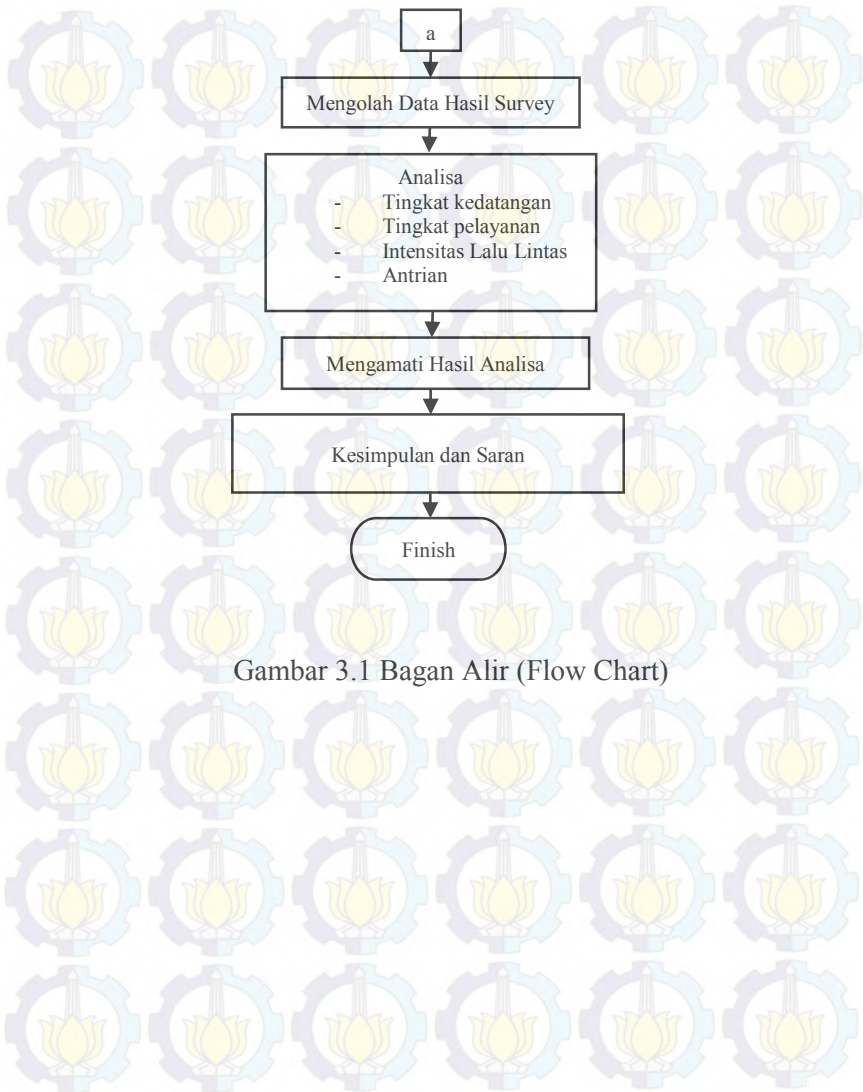
Untuk pengambilan data tingkat kedatangan dilakukan dengan menghitung jumlah kendaraan yang datang per 15 menit. Sedangkan untuk pengambilan data panjang antrian dilakukan dengan mengukur panjang antrian yang terjadi sesaat setelah kendaraan berada tepat di depan gardu untuk melakukan transaksi.

### 3.8 Bagan Alir

Untuk mencapai tujuan penelitian maka perlu dibuat suatu metodologi penelitian yang dapat dilihat melalui *flow chart* pada Gambar 3.1







Gambar 3.1 Bagan Alir (Flow Chart)



## **BAB IV**

### **PENGUMPULAN DATA**

#### **4.1 Umum**

Dalam penyelesaian tugas akhir ini diperlukan beberapa data untuk dianalisa. Ada dua tipe data yang digunakan, yaitu data primer dan data sekunder.

Data primer adalah data yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan, sedangkan data sekunder adalah data penunjang yang didapatkan dari berbagai sumber (dokumen, buku, tugas akhir terdahulu, maupun data dari instansi terkait).

#### **4.2 Data Primer**






Terdapat tiga data primer yang digunakan dalam mengevaluasi kapasitas dan pelayanan gerbang tol yang ditinjau, yaitu data tingkat kedatangan pada tiap gerbang tol yang ditinjau, waktu pelayanan, dan panjang antrian.

##### **4.2.1 Tingkat Kedatangan**




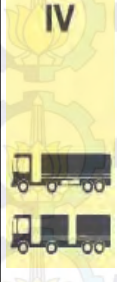

Terdapat tiga gerbang tol yang ditinjau tingkat kedatangannya yang dapat dilihat pada tabel berikut:








**Tabel 4.1:** Tingkat Kedatangan pada Gerbang Tol Waru I & Ramp

GOL	1	2	3	4	5
PUKUL	I 	II 	III 	IV 	V 
15.00-15.15	182	46	27	22	8
15.15-15.30	196	39	25	18	9
15.30-15.45	237	38	20	15	10
15.45-16.00	253	41	23	17	14
16.00-16.15	258	45	26	19	15
16.15-16.30	268	48	24	17	9
16.30-16.45	281	51	25	25	11
16.45-17.00	294	44	22	22	10
17.00-17.15	328	46	26	18	11
17.15-17.30	313	54	23	18	7
17.30-17.45	332	43	29	12	11
17.45-18.00	302	42	19	27	15
18.00-18.15	282	37	31	21	7
18.15-18.30	249	34	15	17	9
18.30-18.45	213	29	24	15	6
18.45-19.00	184	23	23	15	8

**Tabel 4.2:** Tingkat Kedatangan pada Gerbang Tol Waru Utama

GOL	1	2	3	4	5
PUKUL					
15.00-15.15	192	42	15	17	7
15.15-15.30	229	43	13	20	6
15.30-15.45	243	40	15	18	9
15.45-16.00	269	44	22	21	8
16.00-16.15	293	42	25	24	10
16.15-16.30	347	43	27	35	7
16.30-16.45	355	55	29	21	8
16.45-17.00	359	53	24	15	7
17.00-17.15	368	55	22	20	7
17.15-17.30	382	56	24	24	6
17.30-17.45	371	45	23	22	8
17.45-18.00	343	48	22	22	8
18.00-18.15	321	43	20	21	9
18.15-18.30	298	44	22	13	7
18.30-18.45	264	43	13	20	9
18.45-19.00	235	41	15	12	7

**Tabel 4.3:** Tingkat Kedatangan pada Gerbang Tol Dupak 3

GOL	1	2	3	4	5
PUKUL					
15.00-15.15	283	32	13	19	14
15.15-15.30	327	37	15	15	9
15.30-15.45	358	39	12	23	13
15.45-16.00	364	43	10	14	10
16.00-16.15	377	41	14	20	12
16.15-16.30	382	38	17	15	8
16.30-16.45	385	47	18	21	13
16.45-17.00	391	48	16	12	12
17.00-17.15	406	47	13	10	15
17.15-17.30	419	45	12	18	10
17.30-17.45	438	49	15	16	16
17.45-18.00	423	42	17	14	18
18.00-18.15	387	40	14	20	15
18.15-18.30	354	36	15	12	9
18.30-18.45	329	38	12	8	13
18.45-19.00	284	33	13	10	11



#### 4.2.2 Waktu Pelayanan

Untuk hasil dari survey waktu pelayanan dapat dilihat pada lampiran 4-22. Waktu pelayanan rata-rata dari gerbang-gerbang yang ditinjau dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4.4:** Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Waru I & Ramp

	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00
Gate 1(GTO)	4,49 dtk	4,36 dtk	5,50 dtk	5,50 dtk
Gate 3(GTO)	5,21 dtk	4,88 dtk	5,46 dtk	5,36 dtk
Gate 5	4,93 dtk	5,02 dtk	6,30 dtk	5,77 dtk
Gate 7	5,81 dtk	5,54 dtk	6,00 dtk	6,29 dtk
Gate 11	6,66 dtk	5,56 dtk	5,81 dtk	6,21 dtk
Gate 9	6,30 dtk	6,11 dtk	5,76 dtk	5,58 dtk

**Tabel 4.5:** Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Waru Utama

	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00
Gate 2	6,16 dtk	6,17 dtk	6,21 dtk	6,57 dtk
Gate 4	6,02 dtk	6,47 dtk	6,27 dtk	6,20 dtk
Gate 6	5,79 dtk	6,40 dtk	6,45 dtk	6,54 dtk
Gate 8	6,09 dtk	6,17 dtk	6,24 dtk	6,33 dtk
Gate 10	6,14 dtk	6,21 dtk	5,93 dtk	6,22 dtk
Gate 12	6,22 dtk	6,03 dtk	6,34 dtk	6,21 dtk
Gate 14	6,35 dtk	6,32 dtk	6,32 dtk	6,35 dtk

**Tabel 4.6:** Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Dupak 3

	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00
Gate 1	5,99 dtk	5,71 dtk	5,84 dtk	6,13 dtk
Gate 2	5,78 dtk	5,78 dtk	6,01 dtk	5,94 dtk
Gate 3	6,04 dtk	5,79 dtk	5,91 dtk	5,96 dtk
Gate 4	5,97 dtk	5,68 dtk	6,17 dtk	6,08 dtk
Gate 7(GTO)	4,92 dtk	5,09 dtk	5,14 dtk	5,16 dtk
Gate 9	5,79 dtk	5,77 dtk	5,82 dtk	5,74 dtk

### 4.2.3 Panjang Antrian

Panjang antrian rata-rata yang terjadi pada gerbang-gerbang yang ditinjau dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4.7:** Panjang Antrian pada Gerbang Tol Waru I & Ramp

	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00
Gate 1(GTO)	4,83 m	4,94 m	5,11 m	5,42 m
Gate 3(GTO)	5,13 m	5,27 m	5,32 m	5,84 m
Gate 5	12,63 m	13,58 m	12,09 m	13,71 m
Gate 7	13,75 m	13,81 m	14,06 m	13,97 m
Gate 11	13,68 m	13,74 m	13,91 m	13,82 m
Gate 9	15,03 m	15,49 m	14,16 m	14,25 m

**Tabel 4.8:** Panjang Antrian pada Gerbang Tol Waru Utama

	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00
Gate 2	12,26 m	12,64 m	13,15 m	13,03 m
Gate 4	12,51 m	12,72 m	13,28 m	13,12 m
Gate 6	13,43 m	13,86 m	13,94 m	13,57 m
Gate 8	13,33 m	13,52 m	13,85 m	13,64 m
Gate 10	12,15 m	12,43 m	13,21 m	13,02 m
Gate 12	12,18 m	12,56 m	12,62 m	12,30 m
Gate 14	13,14 m	13,40 m	13,75 m	13,41 m

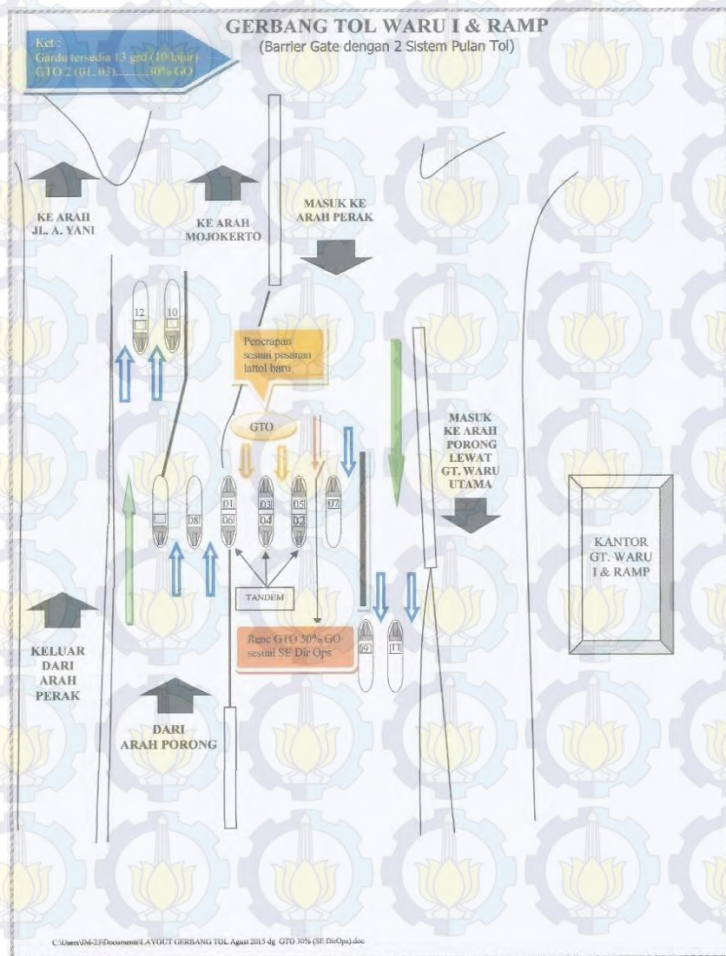
**Tabel 4.9:** Panjang Antrian pada Gerbang Tol Dupak 3

	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00
Gate 1	12,11 m	12,63 m	12,96 m	12,75 m
Gate 2	12,07 m	12,51 m	13,06 m	12,84 m
Gate 3	13,27 m	13,44 m	13,52 m	13,19 m
Gate 4	12,32 m	12,57 m	13,02 m	12,81 m
Gate 7(GTO)	4,84 m	5,17 m	5,46 m	5,20 m
Gate 9	12,18 m	12,73 m	12,91 m	12,38 m

### 4.3 Data Sekunder

#### 4.3.1 Data Konfigurasi

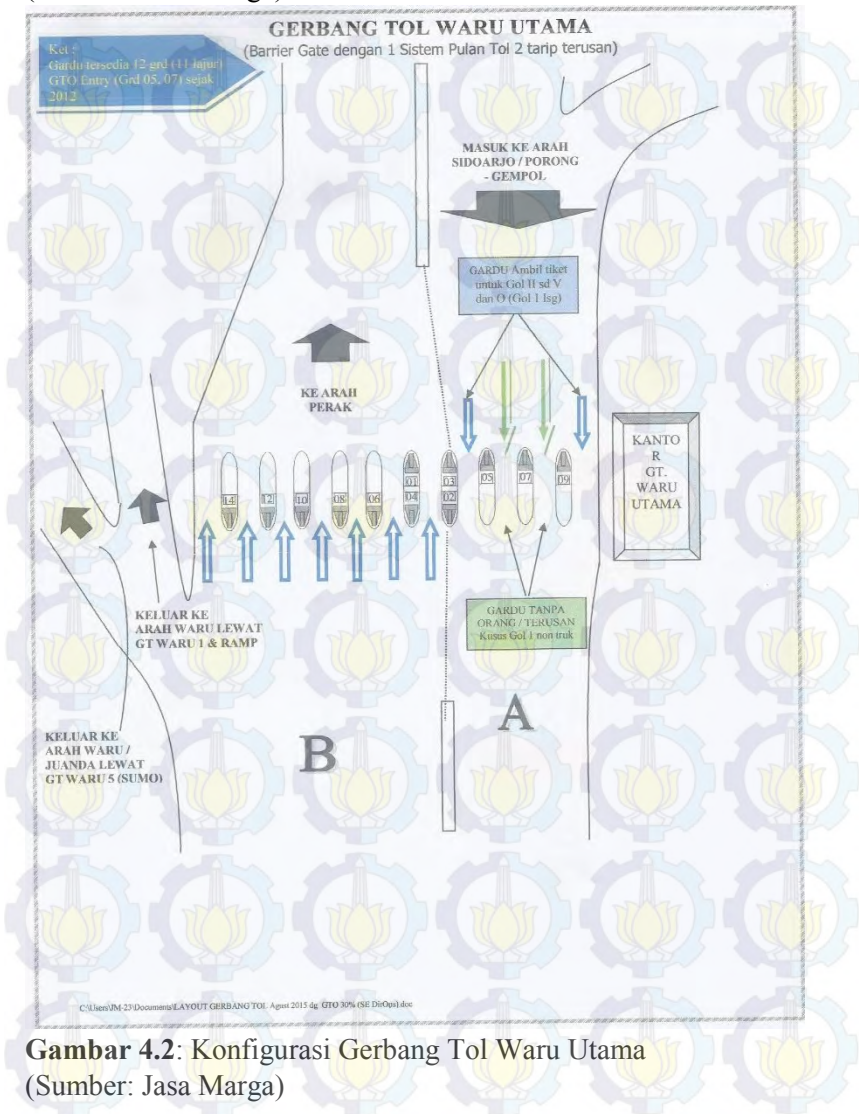
Data konfigurasi dari gerbang yang ditinjau dapat dilihat pada gambar berikut:



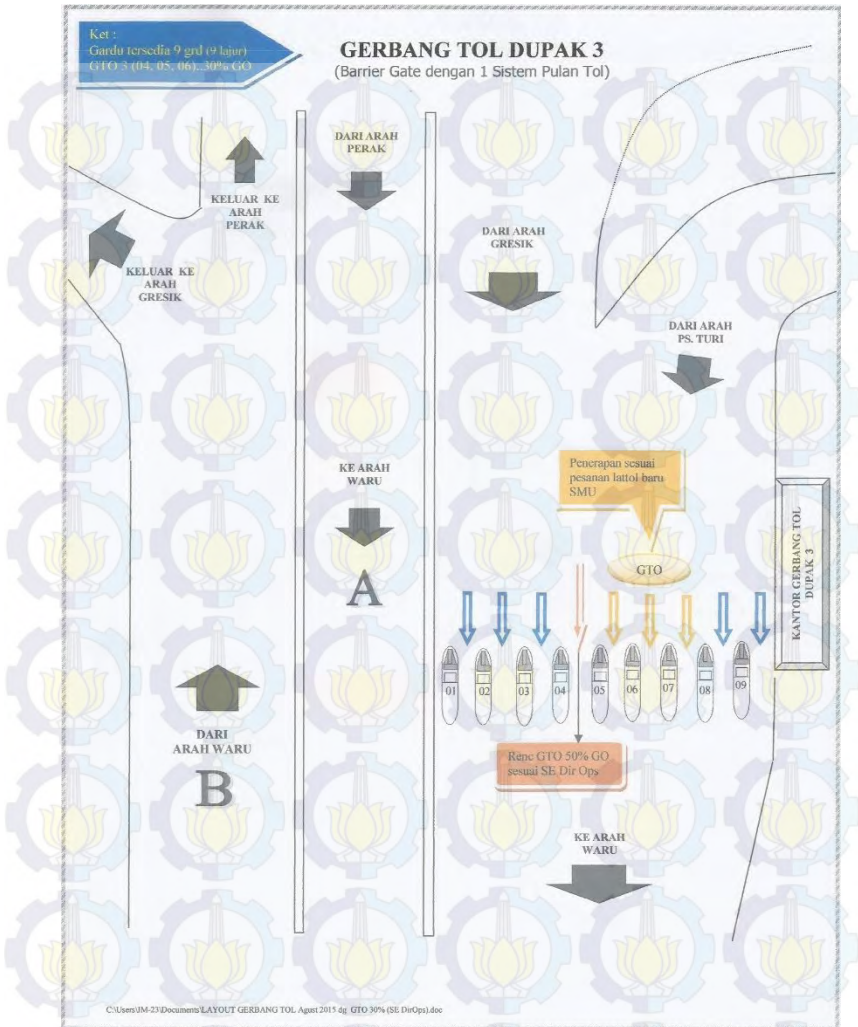
**Gambar 4.1:** Konfigurasi Gerbang Tol Waru I & Ramp



(Sumber: Jasa Marga)



**Gambar 4.2:** Konfigurasi Gerbang Tol Waru Utama  
(Sumber: Jasa Marga)



**Gambar 4.3:** Konfigurasi Gerbang Tol Dupak 3  
(Sumber: Jasa Marga)





## BAB V ANALISA DATA

### 5.1 Analisa Tingkat Kedatangan (*Arrival Rate*)

Untuk analisa tingkat kedatangan, maka perlu dilakukan survey untuk menghitung jumlah kendaraan yang datang pada gerbang tol yang ditinjau terlebih dahulu.

#### 5.1.1 Menggunakan Jumlah Kendaraan

Pada analisa ini tingkat kedatangan yang dianalisa adalah tingkat kedatangan dengan jumlah kendaraan asli, yaitu jumlah kendaraan hasil survey pada gerbang tol yang ditinjau.

Contoh hasil perhitungan analisa tingkat kedatangan volume asli pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5.1:** Data Survey Tingkat Kedatangan Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp

No	Jam (WIB)	I	II	III	IV	V	Jumlah Kendaraan
1	15.00 – 16.00	868	164	95	72	41	1240
2	16.00 – 17.00	1101	188	97	83	45	1514
3	17.00 – 18.00	1275	185	97	75	44	1676
4	18.00 – 19.00	928	123	93	68	30	1242
TOTAL		4172	660	382	298	160	5672
PROPORSI (%)		73,55	11,64	6,73	5,25	2,82	100

Rumus : 
$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

Dimana: N = Banyaknya waktu yang diperlukan (jam)

Maka: 
$$\bar{x} = \frac{5672}{4} = 1418 \text{ kendaraan/jam}$$

Tingkat kedatangan ( $\lambda$ ) dengan tingkat pelayanan ( $\mu$ ) memiliki persyaratan bahwa nilai tersebut selalu harus lebih kecil dari 1

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$$

$\lambda$  = Tingkat kedatangan rata-rata jumlah kendaraan yang hendak masuk antrian atau masih bergerak, didapat dari hasil survey

$\mu$  = Tingkat pelayanan

### 5.1.2 Menggunakan Satuan Mobil Penumpang

Pada analisa ini jumlah kendaraan yang telah didapat dari hasil survey kemudian dihitung ekivalensi mobil penumpang dari masing-masing golongan dengan mengelompokkan golongan kendaraan berdasarkan kategori kendaraannya. Untuk golongan I dan II masuk kategori LV; golongan III masuk kategori MHV; golongan IV dan V masuk kategori LB. Kemudian dihitung ekivalensi mobil penumpangnya dengan menggunakan pengali 1 untuk emp kategori LV; 1,4 untuk emp kategori MHV; 2 untuk emp kategori LB (MKJI, 1997)

Hasil perhitungan ekivalensi mobil penumpang selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1; Lampiran 2; Lampiran 3

#### 1. Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp

Dari data hasil survey *arrival rate* pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp setelah dikali dengan ekivalensi mobil penumpang

Tempat : Gerbang tol Waru 1 dan Ramp

Tanggal/hari : 21 September 2015 / Senin

Waktu : 15.00 – 19.00 WIB

**Tabel 5.2:** Data Survey Tingkat Kedatangan Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Setelah Dikali dengan Ekivalensi Mobil Penumpang

No	Jam (WIB)	Jumlah Kendaraan
1	15.00 – 16.00	1391
2	16.00 – 17.00	1680,8
3	17.00 – 18.00	1833,8
4	18.00 – 19.00	1377,2
TOTAL		6282,8

Rumus : 
$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

Dimana: N = Banyaknya waktu yang diperlukan (jam)

Maka:  $\bar{x} = \frac{6282,8}{4} = 1570,7 \approx 1571 \text{ smp/jam}$

Tingkat kedatangan ( $\lambda$ ) dengan tingkat pelayanan ( $\mu$ ) memiliki persyaratan bahwa nilai tersebut selalu harus lebih kecil dari 1

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$$

$\lambda$  = Tingkat kedatangan rata-rata jumlah kendaraan yang hendak masuk antrian atau masih bergerak, didapat dari hasil survey

$\mu$  = Tingkat pelayanan

## 2. Gerbang Tol Waru Utama

Dari data hasil survey *arrival rate* pada gerbang tol Waru Utama setelah dikali dengan ekivalensi mobil penumpang

Tempat : Gerbang tol Waru Utama

Tanggal/hari : 22 September 2015 / Selasa

Waktu : 15.00 – 19.00 WIB

**Tabel 5.3:** Data Survey Tingkat Kedatangan Gerbang Tol Waru Utama Setelah Dikali dengan Ekivalensi Mobil Penumpang

No	Jam (WIB)	Jumlah Kendaraan
1	15.00 – 16.00	1405
2	16.00 – 17.00	1948
3	17.00 – 18.00	2029,4
4	18.00 – 19.00	1583
TOTAL		6965,4

Rumus :  $\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$

Dimana: N = Banyaknya waktu yang diperlukan (jam)

Maka:  $\bar{x} = \frac{6965,4}{4} = 1741,35 \approx 1742 \text{ smp/jam}$

Tingkat kedatangan ( $\lambda$ ) dengan tingkat pelayanan ( $\mu$ ) memiliki persyaratan bahwa nilai tersebut selalu harus lebih kecil dari 1



$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$$

$\lambda$  = Tingkat kedatangan rata-rata jumlah kendaraan yang hendak masuk antrian atau masih bergerak, didapat dari hasil survei

$\mu$  = Tingkat pelayanan

### 3. Gerbang Tol Dupak 3

Dari data hasil survey *arrival rate* pada gerbang tol Dupak 3 setelah dikali dengan ekivalensi mobil penumpang

Tempat : Gerbang tol Dupak 3

Tanggal/hari : 23 September 2015 / Rabu

Waktu : 15.00 – 19.00 WIB

**Tabel 5.4:** Data Survey Tingkat Kedatangan Gerbang Tol Dupak 3 Setelah Dikali dengan Ekivalensi Mobil Penumpang

No	Jam (WIB)	Jumlah Kendaraan
1	15.00 – 16.00	1787
2	16.00 – 17.00	2026
3	17.00 – 18.00	2182,8
4	18.00 – 19.00	1772,6
TOTAL		7768,4

Rumus :  $\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$

Dimana: N = Banyaknya waktu yang diperlukan (jam)

Maka:  $\bar{x} = \frac{7768,4}{4} = 1942,1 \approx 1943 \text{ smp/jam}$

Tingkat kedatangan ( $\lambda$ ) dengan tingkat pelayanan ( $\mu$ ) memiliki persyaratan bahwa nilai tersebut selalu harus lebih kecil dari 1

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$$

$\lambda$  = Tingkat kedatangan rata-rata jumlah kendaraan yang hendak masuk antrian atau masih bergerak, didapat dari hasil survey

$\mu$  = Tingkat pelayanan

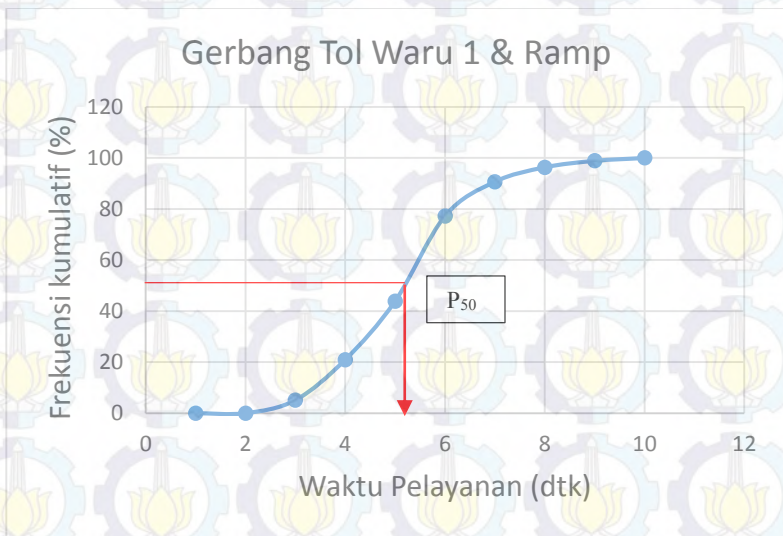
## 5.2 Analisa Waktu Pelayanan (*Service Time*)

Untuk analisa waktu pelayanan, maka perlu dilakukan survey untuk menghitung waktu pelayanan setiap kendaraan yang melakukan transaksi pada gerbang tol yang ditinjau terlebih dahulu. Kemudian dari data waktu pelayanan tersebut diolah sehingga didapatkan grafik frekuensi kumulatif dari gerbang tol yang ditinjau.

### 5.2.1 Menggunakan Jumlah Kendaraan

Contoh hasil perhitungan analisa waktu pelayanan dengan jumlah kendaraan asli pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dapat dilihat pada grafik berikut:

Berdasarkan grafik frekuensi kumulatif (%) dari waktu pelayanan gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan 6 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata ( $P_{50}$ ) sebagai berikut :



**Gambar 5.1** : Grafik Frekuensi Kumulatif (%) Waktu Pelayanan Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dibutuhkan pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp, didapatkan :

$$\lambda = 1418 \text{ kend/jam}$$

$$N = 6$$

$$\frac{1418/6}{\mu} < 1$$

Diperoleh :  $\mu = 262 \text{ kend/jam}$

Jadi waktu pelayanan maksimal yang dibutuhkan adalah

$$236 = \frac{3600}{WP}$$

$$WP = 15,25 \text{ detik/kendaraan}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 1418 \text{ kendaraan/jam}$ , diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp 16 detik/kendaraan, sedangkan dari grafik frekuensi kumulatif didapat waktu pelayanan 5,3 detik/kendaraan.

Sedangkan Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada sistem terbuka harus  $\leq 8$  detik/kendaraan. Oleh karena itu, pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp sudah memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $< 8$  detik/kendaraan.

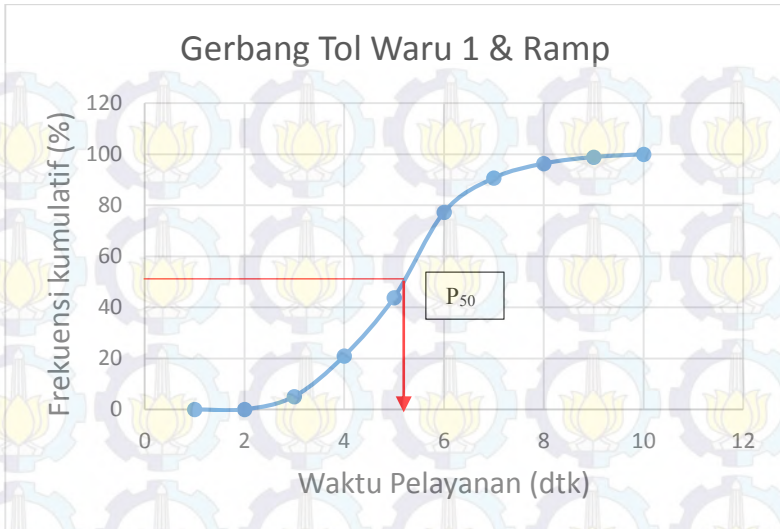
### 5.2.2 Menggunakan Satuan Mobil Penumpang

Hasil survey waktu pelayanan dapat dilihat pada lampiran...

#### 1. Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp

Berdasarkan grafik frekuensi kumulatif (%) dari waktu pelayanan gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan 6 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata ( $P_{50}$ ) sebagai berikut :





**Gambar 5.2** : Grafik Frekuensi Kumulatif (%) Waktu Pelayanan Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dibutuhkan pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp, didapatkan :

$$\lambda = 1571 \text{ smp/jam}$$

$$N = 6$$

$$\frac{1571/6}{\mu} < 1$$

Diperoleh :  $\mu = 262 \text{ smp/jam}$

Jadi waktu pelayanan maksimal yang dibutuhkan adalah

$$262 = \frac{3600}{WP}$$

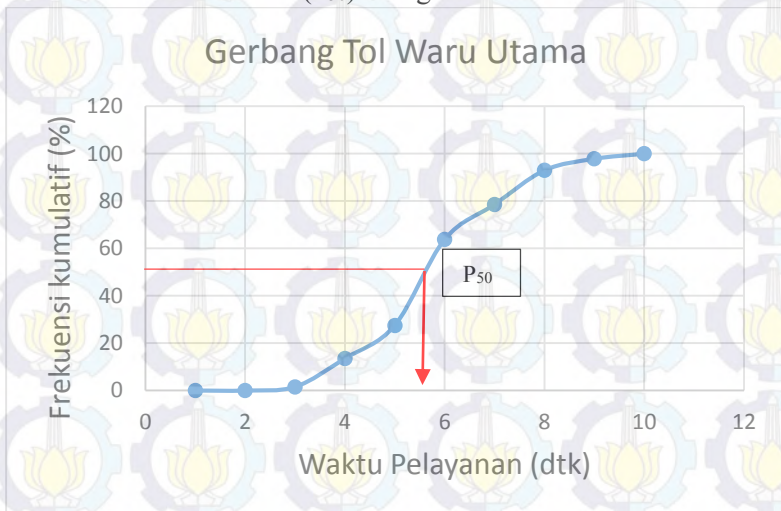
$$WP = 13,74 \text{ detik/smp}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 1571 \text{ smp/jam}$ , diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp 14 detik/smp, sedangkan dari grafik frekuensi kumulatif didapat waktu pelayanan 5,3 detik/kend.

Sedangkan Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada sistem terbuka harus  $\leq 8$  detik/kendaraan. Oleh karena itu, pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp sudah memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $< 8$  detik/kendaraan.

## 2. Gerbang Tol Waru Utama

Berdasarkan grafik frekuensi kumulatif (%) dari waktu pelayanan gerbang tol Waru Utama dengan 7 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata ( $P_{50}$ ) sebagai berikut :



**Gambar 5.3** : Grafik Frekuensi Kumulatif (%) Waktu Pelayanan Gerbang Tol Waru Utama

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dibutuhkan pada gerbang tol Waru Utama, didapatkan :

$$\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$$

$$N = 7$$

$$\frac{1742/7}{\mu} < 1$$

$$\mu$$

Diperoleh :  $\mu = 249 \text{ smp/jam}$

Jadi waktu pelayanan maksimal yang dibutuhkan adalah

$$249 = \frac{3600}{WP}$$

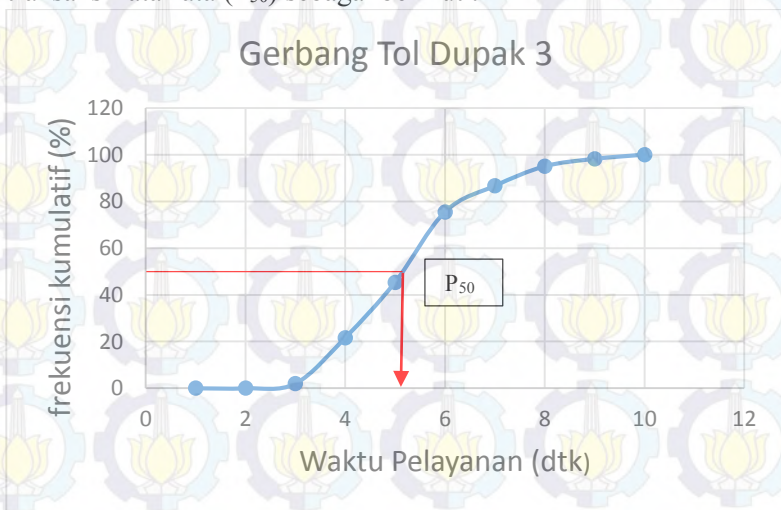
$$WP = 14,5 \text{ detik/smp}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$ , diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada gerbang tol Waru Utama 15 detik/smp, sedangkan dari grafik frekuensi kumulatif didapat waktu pelayanan 5,6 detik/kend.

Sedangkan Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada sistem terbuka harus  $\leq 8$  detik/kendaraan. Oleh karena itu, pada gerbang tol Waru Utama sudah memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $< 8$  detik/kendaraan.

### 3. Gerbang Tol Dupak 3

Berdasarkan grafik frekuensi kumulatif (%) dari waktu pelayanan gerbang tol Dupak 3 dengan 6 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata ( $P_{50}$ ) sebagai berikut :





**Gambar 5.4** : Grafik Frekuensi Kumulatif (%) Waktu Pelayanan Gerbang Tol Dupak 3

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dibutuhkan pada gerbang tol Dupak 3, didapatkan :

$$\lambda = 1943 \text{ smp/jam}$$

$$N = 6$$

$$\frac{1943/6}{\mu} < 1$$

Diperoleh :  $\mu = 324 \text{ smp/jam}$

Jadi waktu pelayanan maksimal yang dibutuhkan adalah

$$324 = \frac{3600}{WP}$$

$$WP = 11,11 \text{ detik/smp}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 1943 \text{ smp/jam}$ , diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada gerbang tol Waru Dupak 3 12 detik/kendaraan, sedangkan dari grafik frekuensi kumulatif didapat waktu pelayanan 5,2 detik/kend.

Sedangkan Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada sistem terbuka harus  $\leq 8$  detik/kendaraan. Oleh karena itu, pada gerbang tol Dupak 3 sudah memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $< 8$  detik/kendaraan.

### 5.3 Analisa Intensitas Lalu Lintas

Dengan tingkat kedatangan seperti pada analisa di atas, maka perlu dilakukan analisa intensitas lalu lintas ( $\rho$ ) terhadap gardu pelayanan yang terbuka untuk mengetahui seberapa besar intensitas yang terjadi pada gardu tersebut. Analisa ini dilakukan dengan menggunakan berbagai kondisi waktu pelayanan berdasarkan data waktu pelayanan yang tercatat ketika survey hingga waktu pelayanan maksimal seperti pada analisa waktu pelayanan sebelumnya, sehingga bisa diketahui intensitas lalu lintas disetiap kondisi waktu pelayanan.

### 5.3.1 Menggunakan Jumlah Kendaraan

Contoh hasil perhitungan analisa intensitas lalu lintas jumlah kendaraan asli pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp sebagai berikut:

- Menggunakan WP = 3 detik/kendaraan  
 $\lambda = 1418 \text{ kendaraan/jam}$   
 $WP = 3 \text{ detik/kendaraan}$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{3} = 1200$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{1200} = 0,197 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 4 detik/kendaraan  
 $\lambda = 1418 \text{ kendaraan/jam}$   
 $WP = 4 \text{ detik/kendaraan}$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{4} = 900$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{900} = 0,263 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 5$  detik/kendaraan  
 $\lambda = 1418$  kendaraan/jam  
 $WP = 5$  detik/kendaraan

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{5} = 720$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{720} = 0,328 < 1$$



Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 6$  detik/kendaraan  
 $\lambda = 1418$  kendaraan/jam  
 $WP = 6$  detik/kendaraan

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{6} = 600$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{600} = 0,394 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 7$  detik/kendaraan  
 $\lambda = 1418$  kendaraan/jam  
 $WP = 7$  detik/kendaraan

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{7} = 514,29 \approx 515$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{515} = 0,459 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 8$  detik/kendaraan

$$\lambda = 1418 \text{ kendaraan/jam}$$

$$WP = 8 \text{ detik/kendaraan}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{8} = 450$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{450} = 0,525 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 9 detik/kendaraan

$$\lambda = 1418 \text{ kendaraan/jam}$$

$$WP = 9 \text{ detik/kendaraan}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{9} = 400$$

$$N = 6 \text{ (jumlah gardu yang terbuka)}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{400} = 0,591 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 10 detik/kendaraan

$$\lambda = 1418 \text{ kendaraan/jam}$$

$$WP = 10 \text{ detik/kendaraan}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{10} = 360$$

$$N = 6 \text{ (jumlah gardu yang terbuka)}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{360} = 0,656 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 11 detik/kendaraan  
 $\lambda = 1418$  kendaraan/jam  
 WP = 11 detik/kendaraan

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{11} = 327,27 \approx 328$$

N = 6 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{328} = 0,721 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 12 detik/kendaraan  
 $\lambda = 1418$  kendaraan/jam  
 WP = 12 detik/kendaraan



$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{12} = 300$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{300} = 0,788 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 13$  detik/kendaraan  
 $\lambda = 1418$  kendaraan/jam  
 $WP = 13$  detik/kendaraan

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{13} = 276,92 \approx 277$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{277} = 0,853 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 14 detik/kendaraan  
 $\lambda = 1418 \text{ kendaraan/jam}$   
 $WP = 14 \text{ detik/kendaraan}$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{14} = 257,14 \approx 258$$

N = 6 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{258} = 0,916 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 15 detik/kendaraan  
 $\lambda = 1418 \text{ kendaraan/jam}$   
 $WP = 15 \text{ detik/kendaraan}$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{15} = 240$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{240} = 0,985 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 16$  detik/kendaraan

$$\lambda = 1418 \text{ kendaraan/jam}$$

$$WP = 16 \text{ detik/kendaraan}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{16} = 225$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1418/6}{225} = 1,05 > 1$$

Dengan  $\rho > 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi telah melewati batas dan akan terjadi antrian yang panjang

### 5.3.2 Menggunakan Satuan Mobil Penumpang

#### 1. Analisa Intensitas Lalu Lintas pada Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp

- Menggunakan WP = 3 detik/smp

$$\lambda = 1571 \text{ smp/jam}$$

$$\text{WP} = 3 \text{ detik/smp}$$

$$\mu = \frac{1}{\text{WP}}$$

$$\mu = \frac{3600}{3} = 1200$$

N = 6 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{1200} = 0,218 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 4 detik/smp

$$\lambda = 1571 \text{ smp/jam}$$

$$\text{WP} = 4 \text{ detik/smp}$$

$$\mu = \frac{1}{\text{WP}}$$



$$\mu = \frac{3600}{4} = 900$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{900} = 0,291 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 5$  detik/smp

$$\lambda = 1571 \text{ smp/jam}$$

$$WP = 5 \text{ detik/smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{5} = 720$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{720} = 0,364 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 6 detik/smp  
 $\lambda = 1571 \text{ smp/jam}$   
 WP = 6 detik/smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{6} = 600$$

N = 6 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{600} = 0,437 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 7 detik/smp  
 $\lambda = 1571 \text{ smp/jam}$   
 WP = 7 detik/smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{7} = 514,29 \approx 515$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{515} = 0,508 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 8$  detik/smp

$$\lambda = 1571 \text{ smp/jam}$$

$$WP = 8 \text{ detik/ smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{8} = 450$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{450} = 0,582 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 9 detik/ smp

$$\lambda = 1571 \text{ smp /jam}$$

$$WP = 9 \text{ detik/ smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{9} = 400$$

N = 6 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{400} = 0,655 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 10 detik/ smp

$$\lambda = 1571 \text{ smp /jam}$$

$$WP = 10 \text{ detik/ smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{10} = 360$$

N = 6 (jumlah gardu yang terbuka)



$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{360} = 0,727 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 11 detik/ smp  
 $\lambda = 1571$  smp /jam  
 WP = 11 detik/ smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{11} = 327,27 \approx 328$$

N = 6 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{328} = 0,798 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 12 detik/ smp  
 $\lambda = 1571$  smp/jam  
 WP = 12 detik/ smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{12} = 300$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{300} = 0,873 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 13$  detik/smp

$$\lambda = 1571 \text{ smp/jam}$$

$$WP = 13 \text{ detik/smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{13} = 276,92 \approx 277$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{277} = 0,945 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 14 detik/smp  
 $\lambda = 1571 \text{ smp/jam}$   
 WP = 14 detik/smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{14} = 257,14 \approx 258$$

N = 6 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1571/6}{258} = 1,015 > 1$$

Dengan  $\rho > 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi telah melewati batas dan akan terjadi antrian yang panjang

## 2. Analisa Intensitas Lalu Lintas pada Gerbang Tol Waru Utama

- Menggunakan WP = 3 detik/smp  
 $\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$   
 WP = 3 detik/smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{3} = 1200$$

$N = 7$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{1200} = 0,207 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 4$  detik/smp

$$\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$$

$$WP = 4 \text{ detik/smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{4} = 900$$

$N = 7$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$



$$\rho = \frac{1742/7}{900} = 0,277 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 5 detik/smp  
 $\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$   
 $WP = 5 \text{ detik/smp}$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{5} = 720$$

$N = 7$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{720} = 0,346 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan WP = 6 detik/smp  
 $\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$   
 $WP = 6 \text{ detik/smp}$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{6} = 600$$

$N = 7$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{600} = 0,415 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 7$  detik/smp

$$\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$$

$$WP = 7 \text{ detik/smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{7} = 514,29 \approx 515$$

$N = 7$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{515} = 0,483 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 8$  detik/smp  
 $\lambda = 1742$  smp/jam  
 $WP = 8$  detik/smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{8} = 450$$

$N = 7$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{450} = 0,553 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 9$  detik/smp  
 $\lambda = 1742$  smp/jam  
 $WP = 9$  detik/smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{9} = 400$$

$N = 7$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{400} = 0,622 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman

- Menggunakan  $WP = 10$  detik/smp

$$\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$$

$$WP = 10 \text{ detik/smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{10} = 360$$

$N = 7$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{360} = 0,692 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman



- Menggunakan WP = 11 detik/smp

$$\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$$

$$WP = 11 \text{ detik/smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{11} = 327,27 \approx 328$$

$$N = 7 \text{ (jumlah gardu yang terbuka)}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{328} = 0,759 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan WP = 12 detik/smp

$$\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$$

$$WP = 12 \text{ detik/smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{12} = 300$$

$$N = 7 \text{ (jumlah gardu yang terbuka)}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{300} = 0,830 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan WP = 13 detik/smp

$$\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$$

$$WP = 13 \text{ detik/smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{13} = 276,92 \approx 277$$

N = 7 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{277} = 0,898 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan WP = 14 detik/smp

$$\lambda = 1742 \text{ smp/jam}$$

$$WP = 14 \text{ detik/smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{14} = 257,14 \approx 258$$

$N = 7$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{258} = 0,965 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan  $WP = 15$  detik/smp  
 $\lambda = 1742$  smp/jam  
 $WP = 15$  detik/smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{15} = 240$$

$N = 7$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1742/7}{240} = 1,037 > 1$$

Dengan  $\rho > 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi telah melewati batas dan akan terjadi antrian yang panjang

### 3. Analisa Intensitas Lalu Lintas pada Gerbang Tol Dupak 3

- Menggunakan WP = 3 detik/ smp

$$\lambda = 1943 \text{ smp /jam}$$

$$\text{WP} = 3 \text{ detik/ smp}$$

$$\mu = \frac{1}{\text{WP}}$$

$$\mu = \frac{3600}{3} = 1200$$

N = 6 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1943/6}{1200} = 0,269 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan WP = 4 detik/ smp

$$\lambda = 1943 \text{ smp jam}$$

$$\text{WP} = 4 \text{ detik/ smp}$$



$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{4} = 900$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1943/6}{900} = 0,359 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan  $WP = 5$  detik/ smp  
 $\lambda = 1943$  smp /jam  
 $WP = 5$  detik/ smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{5} = 720$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1943/6}{720} = 0,451 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan WP = 6 detik/ smp  
 $\lambda = 1943 \text{ smp /jam}$   
 $WP = 6 \text{ detik/ smp}$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{6} = 600$$

N = 6 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1943/6}{600} = 0,541 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan WP = 7 detik/ smp  
 $\lambda = 1943 \text{ smp /jam}$   
 $WP = 7 \text{ detik/ smp}$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{7} = 514,29 \approx 515$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1943/6}{515} = 0,629 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan  $WP = 8$  detik/ smp

$$\lambda = 1943 \text{ smp /jam}$$

$$WP = 8 \text{ detik/ smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{8} = 450$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1943/6}{450} = 0,721 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan WP = 9 detik/ smp  
 $\lambda = 1943 \text{ smp /jam}$   
 WP = 9 detik/ smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{9} = 400$$

N = 6 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1943/6}{400} = 0,811 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan WP = 10 detik/ smp  
 $\lambda = 1943 \text{ smp /jam}$   
 WP = 10 detik/ smp

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{10} = 360$$



$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1943/6}{360} = 0,899 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan  $WP = 11$  detik/ smp

$$\lambda = 1943 \text{ smp /jam}$$

$$WP = 11 \text{ detik/ smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{11} = 327,27 \approx 328$$

$N = 6$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1943/6}{328} = 0,987 < 1$$

Dengan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih aman.

- Menggunakan WP = 12 detik/ smp

$$\lambda = 1943 \text{ smp /jam}$$

$$WP = 12 \text{ detik/ smp}$$

$$\mu = \frac{1}{WP}$$

$$\mu = \frac{3600}{12} = 300$$

$$N = 6 \text{ (jumlah gardu yang terbuka)}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{1943/6}{300} = 1,079 > 1$$

Dengan  $\rho > 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi telah melewati batas dan akan terjadi antrian yang panjang

#### 5.4 Analisa Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO)

Analisa antrian dilakukan agar kita dapat melihat seberapa panjang antrian secara hitungan dan dapat melihat jumlah gardu yang dibutuhkan pada tabel hasil analisa. Dalam melakukan analisa antrian sama seperti analisa intensitas lalu lintas, yaitu dengan menggunakan berbagai kondisi waktu pelayanan berdasarkan data waktu pelayanan yang tercatat ketika survey hingga waktu pelayanan maksimal seperti pada analisa waktu pelayanan sebelumnya, sehingga bisa diketahui antrian disetiap kondisi waktu pelayanan.

#### 5.4.1 Menggunakan Jumlah Kendaraan

Contoh hasil perhitungan analisa antrian jumlah kendaraan asli pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp sebagai berikut:

Dengan menggunakan headway = 5,3 detik; kecepatan rata-rata = 5 km/jam; maka didapat spacing untuk golongan I = 7,42 m/kend; golongan II = 13,72 m/kend; golongan III = 13,72 m/kend; golongan IV = 22,62 m/kend; golongan V = 22,62 m/kend.

- Menggunakan WP = 3 detik/kendaraan  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam  
 $\mu$  = 1200 kendaraan/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{1200 - (1418/6)} = 0,25 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{1200(1200 - (1418/6))} = 0,05 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{1200 - (1418/6)} \times 3600 = 3,74 = 4 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{1200(1200 - (1418/6))} \times 3600 = 0,74 = 1 \text{ detik}$$

Pada WP 3 dtk/kend, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 3 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5.5:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74
3	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74
5	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74
7	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74
11	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74
9	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 3 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :



**Tabel 5.6:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	1,5	0,11	0,81	0,01	0,08	1,66	0,16
3 & 4	1,5	0,11	0,81	0,01	0,08	1,66	0,16
5 & 2	1,5	0,11	0,81	0,01	0,08	1,66	0,16
7	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74
11	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74
9	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74

- Menggunakan WP = 4 detik/kendaraan  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam  
 $\mu$  = 900 kendaraan/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{900 - (1418/6)} = 0,36 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{900(900 - (1418/6))} = 0,09 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{900 - (1418/6)} \times 3600 = 5,42 = 6 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{900(900 - (1418/6))} \times 3600 = 1,42 = 2 \text{ detik}$$

Pada WP 4 dtk/kend, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 4 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5.7:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42
3	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42
5	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42
7	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42
11	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42
9	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 4 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.8:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	2	0,15	1,12	0,02	0,15	2,30	0,30
3 & 4	2	0,15	1,12	0,02	0,15	2,30	0,30
5 & 2	2	0,15	1,12	0,02	0,15	2,30	0,30
7	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42
11	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42
9	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42

- Menggunakan WP = 5 detik/kendaraan  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam  
 $\mu$  = 720 kendaraan/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{720 - (1418/6)} = 0,49 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{720(720 - (1418/6))} = 0,16 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{720 - (1418/6)} \times 3600 = 7,44 = 8 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{720(720 - (1418/6))} \times 3600 = 2,44 = 3 \text{ detik}$$

Pada WP 5 dtk/kend, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 5 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5.9:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44
3	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44
5	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44
7	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44
11	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44
9	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya



bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 5 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.10:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	2,5	0,20	1,46	0,03	0,24	2,99	0,49
3 & 4	2,5	0,20	1,46	0,03	0,24	2,99	0,49
5 & 2	2,5	0,20	1,46	0,03	0,24	2,99	0,49
7	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44
11	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44
9	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44

- Menggunakan WP = 6 detik/kendaraan  
Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam  
 $\mu$  = 600 kendaraan/jam  
N = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{600 - (1418/6)} = 0,65 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{600(600 - (1418/6))} = 0,26 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{600 - (1418/6)} \times 3600 = 9,90 = 10 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{600(600 - (1418/6))} \times 3600 = 3,90 = 4 \text{ detik}$$

Pada WP 6 dtk/kend, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 6 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5.11:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90
3	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90
5	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90
7	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90
11	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90
9	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 6 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.12:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74
3 & 4	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74
5 & 2	3	0,25	1,82	0,05	0,36	3,74	0,74
7	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90
11	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90
9	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90

- Menggunakan WP = 7 detik/kendaraan  
Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam  
 $\mu$  = 515 kendaraan/jam  
N = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{515 - (1418/6)} = 0,85 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{515(515 - (1418/6))} = 0,039 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{515 - (1418/6)} \times 3600 = 12,95 = 13 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{515(515 - (1418/6))} \times 3600 = 5,95 = 6 \text{ detik}$$

Pada WP 7 dtk/kend, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 7 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:



**Tabel 5.13:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95
3	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95
5	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95
7	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95
11	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95
9	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 7 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.14:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	3,5	0,30	2,21	0,07	0,51	4,54	1,04
3 & 4	3,5	0,30	2,21	0,07	0,51	4,54	1,04
5 & 2	3,5	0,30	2,21	0,07	0,51	4,54	1,04
7	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95
11	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95
9	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95

- Menggunakan WP = 8 detik/kendaraan

Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam

$\mu$  = 450 kendaraan/jam

$N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{450 - (1418/6)} = 1,11 = 2 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{450(450 - (1418/6))} = 0,58 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{450 - (1571/6)} \times 3600 = 16,85 = 17 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{450(450 - (1418/6))} \times 3600 = 8,85 = 9 \text{ detik}$$

Pada WP 8 dtk/kend, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 8 detik dengan kondisi gerbang tol yang

beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5.15:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	8	1,11	8,21	0,58	4,31	16,85	8,85
3	8	1,11	8,21	0,58	4,31	16,85	8,85
5	8	1,11	8,21	0,58	4,31	16,85	8,85
7	8	1,11	8,21	0,58	4,31	16,85	8,85
11	8	1,11	8,21	0,58	4,31	16,85	8,85
9	8	1,11	8,21	0,58	4,31	16,85	8,85

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 8 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.16:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42
3 & 4	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42
5 & 2	4	0,36	2,64	0,09	0,69	5,42	1,42
7	8	1,11	8,21	0,58	4,31	16,85	8,85
11	8	1,11	8,21	0,58	4,31	16,85	8,85
9	8	1,11	8,21	0,58	4,31	16,85	8,85

- Menggunakan WP = 9 detik/kendaraan  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam  
 $\mu$  = 400 kendaraan/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{400 - (1418/6)} = 1,44 = 2 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{400(400 - (1418/6))} = 0,85 = 1 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{400 - (1418/6)} \times 3600 = 22 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{450(450 - (1418/6))} \times 3600 = 13 \text{ detik}$$

Pada WP 9 dtk/kend, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang



mengantri adalah hanya dari golongan I saja. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 9 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5.17:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	9	1,44	10,71	0,85	6,33	22,00	13,00
3	9	1,44	10,71	0,85	6,33	22,00	13,00
5	9	1,44	10,71	0,85	6,33	22,00	13,00
7	9	1,44	10,71	0,85	6,33	22,00	13,00
11	9	1,44	10,71	0,85	6,33	22,00	13,00
9	9	1,44	10,71	0,85	6,33	22,00	13,00

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 9 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.18:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	4,5	0,42	3,11	0,12	0,92	6,39	1,89
3 & 4	4,5	0,42	3,11	0,12	0,92	6,39	1,89
5 & 2	4,5	0,42	3,11	0,12	0,92	6,39	1,89
7	9	1,44	10,71	0,85	6,33	22,00	13,00
11	9	1,44	10,71	0,85	6,33	22,00	13,00
9	9	1,44	10,71	0,85	6,33	22,00	13,00

- Menggunakan WP = 10 detik/kendaraan  
Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam  
 $\mu$  = 360 kendaraan/jam  
N = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{360 - (1418/6)} = 1,91 = 2 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{360(360 - (1418/6))} = 1,25 = 2 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{360 - (1418/6)} \times 3600 = 29,11 = 30 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{360(360 - (1418/6))} \times 3600 = 19,11 = 20 \text{ detik}$$

Pada WP 10 dtk/kend, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 10 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5.19:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	10	1,91	14,18	1,25	9,31	29,11	19,11
3	10	1,91	14,18	1,25	9,31	29,11	19,11
5	10	1,91	14,18	1,25	9,31	29,11	19,11
7	10	1,91	14,18	1,25	9,31	29,11	19,11
11	10	1,91	14,18	1,25	9,31	29,11	19,11
9	10	1,91	14,18	1,25	9,31	29,11	19,11

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 10 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.20:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44
3 & 4	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44
5 & 2	5	0,49	3,63	0,16	1,19	7,44	2,44
7	10	1,91	14,18	1,25	9,31	29,11	19,11
11	10	1,91	14,18	1,25	9,31	29,11	19,11
9	10	1,91	14,18	1,25	9,31	29,11	19,11

- Menggunakan WP = 11 detik/kendaraan  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam  
 $\mu$  = 328 kendaraan/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{328 - (1418/6)} = 2,60 = 3 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{328(328 - (1418/6))} = 1,88 = 2 \text{ kendaraan}$$



$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{328 - (1418/6)} \times 3600 = 39,59 = 40 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{328(328 - (1418/6))} \times 3600 = 28,59 = 29 \text{ detik}$$

Pada WP 11 dtk/kend, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 11 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5.21:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	11	2,60	19,28	1,88	13,92	39,59	28,59
3	11	2,60	19,28	1,88	13,92	39,59	28,59
5	11	2,60	19,28	1,88	13,92	39,59	28,59
7	11	2,60	19,28	1,88	13,92	39,59	28,59
11	11	2,60	19,28	1,88	13,92	39,59	28,59
9	11	2,60	19,28	1,88	13,92	39,59	28,59

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya

bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 11 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.22:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	5,5	0,57	4,19	0,20	1,51	8,61	3,11
3 & 4	5,5	0,57	4,19	0,20	1,51	8,61	3,11
5 & 2	5,5	0,57	4,19	0,20	1,51	8,61	3,11
7	11	2,60	19,28	1,88	13,92	39,59	28,59
11	11	2,60	19,28	1,88	13,92	39,59	28,59
9	11	2,60	19,28	1,88	13,92	39,59	28,59

- Menggunakan WP = 12 detik/kendaraan  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam  
 $\mu$  = 300 kendaraan/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{300 - (1418/6)} = 3,71 = 4 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{300(300 - (1418/6))} = 2,92 = 3 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{300 - (1418/6)} \times 3600 = 56,54 = 57 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{300(300 - (1418/6))} \times 3600 = 44,54 = 45 \text{ detik}$$

Pada WP 12 dtk/kend, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 12 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5.23:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	12	3,71	27,54	2,92	21,70	56,54	44,54
3	12	3,71	27,54	2,92	21,70	56,54	44,54
5	12	3,71	27,54	2,92	21,70	56,54	44,54
7	12	3,71	27,54	2,92	21,70	56,54	44,54
11	12	3,71	27,54	2,92	21,70	56,54	44,54
9	12	3,71	27,54	2,92	21,70	56,54	44,54

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 12 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.24:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90
3 & 4	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90
5 & 2	6	0,65	4,82	0,26	1,90	9,90	3,90
7	12	3,71	27,54	2,92	21,70	56,54	44,54
11	12	3,71	27,54	2,92	21,70	56,54	44,54
9	12	3,71	27,54	2,92	21,70	56,54	44,54

- Menggunakan WP = 13 detik/kendaraan  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam  
 $\mu$  = 277 kendaraan/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{277 - (1418/6)} = 5,82 = 6 \text{ kendaraan}$$



$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{277(277 - (1418/6))} = 4,97 = 5 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{277 - (1418/6)} \times 3600 = 88,69 = 89 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{277(277 - (1418/6))} \times 3600 = 75,69 = 76 \text{ detik}$$

Pada WP 13 dtk/kend, terdapat lebih dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah gabungan dari semua golongan, yaitu 2 golongan I, dan masing-masing 1 untuk golongan yang lain. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 13 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.25:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	13	5,82	87,72	4,97	80,30	88,69	75,69
3	13	5,82	87,72	4,97	80,30	88,69	75,69
5	13	5,82	87,72	4,97	80,30	88,69	75,69
7	13	5,82	87,72	4,97	80,30	88,69	75,69
11	13	5,82	87,72	4,97	80,30	88,69	75,69
9	13	5,82	87,72	4,97	80,30	88,69	75,69

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 13 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.26:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	6,5	0,74	5,52	0,32	2,36	11,34	4,84
3 & 4	6,5	0,74	5,52	0,32	2,36	11,34	4,84
5 & 2	6,5	0,74	5,52	0,32	2,36	11,34	4,84
7	13	5,82	87,72	4,97	80,30	88,69	75,69
11	13	5,82	87,72	4,97	80,30	88,69	75,69
9	13	5,82	87,72	4,97	80,30	88,69	75,69

- Menggunakan WP = 14 detik/kendaraan  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1418 kendaraan/jam  
 $\mu$  = 257 kendaraan/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1418/6}{257 - (1418/6)} = 11,36 = 12 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1418/6)^2}{257(257 - (1418/6))} = 10,44 = 11 \text{ kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{257 - (1418/6)} \times 3600 = 173 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1418/6)}{257(257 - (1418/6))} \times 3600 = 159 \text{ detik}$$

Pada WP 14 dtk/kend, terdapat lebih dari 5 kendaraan yang mengantri, sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah gabungan dari semua golongan, yaitu 9 golongan

I, 2 golongan II, dan 1 golongan IV. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 14 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5.27:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	14	11,36	116,9	10,44	109,5	173,00	159,00
3	14	11,36	116,9	10,44	109,5	173,00	159,00
5	14	11,36	116,9	10,44	109,5	173,00	159,00
7	14	11,36	116,9	10,44	109,5	173,00	159,00
11	14	11,36	116,9	10,44	109,5	173,00	159,00
9	14	11,36	116,9	10,44	109,5	173,00	159,00

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 14 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :



**Tabel 5.28:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95
3 & 4	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95
5 & 2	7	0,85	6,31	0,39	2,90	12,95	5,95
7	14	11,36	116,9	10,44	109,5	173,00	159,00
11	14	11,36	116,9	10,44	109,5	173,00	159,00
9	14	11,36	116,9	10,44	109,5	173,00	159,00

#### 5.4.2 Menggunakan Jumlah Kendaraan SMP

- Analisa Antrian pada Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Pendekatan stasiun berganda.  
Dengan menggunakan headway = 5,3 detik; kecepatan rata-rata = 5 km/jam; maka didapat spacing sebesar 7,42 m/smp.
- Menggunakan WP = 3 detik/smp  
Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp /jam  
 $\mu$  = 1200 smp /jam  
N = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{1200 - (1571/6)} = 0,279 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{1200(1200 - (1571/6))} = 0,061 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{1200 - (1571/6)} \times 3600 = 3,837 = 4 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{1200(1200 - (1571/6))} \times 3600 = 0,84 = 1 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 3 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.29:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84
3	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84
5	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84
7	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84
11	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84
9	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 3 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.30:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	1,5	0,12	0,91	0,01	0,10	1,68	0,18
3 & 4	1,5	0,12	0,91	0,01	0,10	1,68	0,18
5 & 2	1,5	0,12	0,91	0,01	0,10	1,68	0,18
7	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84
11	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84
9	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84

- Menggunakan WP = 4 detik/ smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp /jam  
 $\mu$  = 900 smp /jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)} \\
 &= \frac{1571/6}{900 - (1571/6)} = 0,41 = 1 \text{ smp} \\
 q &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)} \\
 &= \frac{(1571/6)^2}{900(900 - (1571/6))} = 0,119 = 1 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{900 - (1571/6)} \times 3600 = 5,641 = 6 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{900(900 - (1571/6))} \times 3600 = 1,641 = 2 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 4 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.31:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64
3	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64
5	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64
7	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64
11	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64
9	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan



yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 4 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.32:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	2	0,17	1,26	0,02	0,18	2,34	0,34
3 & 4	2	0,17	1,26	0,02	0,18	2,34	0,34
5 & 2	2	0,17	1,26	0,02	0,18	2,34	0,34
7	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64
11	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64
9	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64

- Menggunakan WP = 5 detik/ smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp /jam  
 $\mu$  = 720 smp /jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{720 - (1571/6)} = 0,572 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{720(720 - (1571/6))} = 0,208 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{720 - (1571/6)} \times 3600 = 7,86 = 8 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{720(720 - (1571/6))} \times 3600 = 2,86 = 3 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 5 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.33:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
3	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
5	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
7	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
11	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
9	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap

6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 5 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.34:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	2,5	0,22	1,65	0,04	0,30	3,06	0,56
3 & 4	2,5	0,22	1,65	0,04	0,30	3,06	0,56
5 & 2	2,5	0,22	1,65	0,04	0,30	3,06	0,56
7	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
11	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
9	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86

- Menggunakan WP = 6 detik/ smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp /jam  
 $\mu$  = 600 smp /jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{600 - (1571/6)} = 0,774 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{600(600 - (1571/6))} = 0,338 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{600 - (1571/6)} \times 3600 = 10,644 = 11 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{600(600 - (1571/6))} \times 3600 = 4,644 = 5 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 6 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.35:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64
3	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64
5	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64
7	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64
11	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64
9	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap



6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 6 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.36:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84
3 & 4	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84
5 & 2	3	0,28	2,07	0,06	0,45	3,84	0,84
7	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64
11	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64
9	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64

- Menggunakan WP = 7 detik/ smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp/jam  
 $\mu$  = 515 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{515 - (1571/6)} = 1,037 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{515(515 - (1571/6))} = 0,528 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{515 - (1571/6)} \times 3600 = 14,257 = 15 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{515(515 - (1571/6))} \times 3600 = 7,257 = 8 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 7 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.37:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	7	1,04	7,69	0,53	3,92	14,26	7,26
3	7	1,04	7,69	0,53	3,92	14,26	7,26
5	7	1,04	7,69	0,53	3,92	14,26	7,26
7	7	1,04	7,69	0,53	3,92	14,26	7,26
11	7	1,04	7,69	0,53	3,92	14,26	7,26
9	7	1,04	7,69	0,53	3,92	14,26	7,26

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap

6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 7 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.38:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	3,5	0,34	2,53	0,09	0,64	4,69	1,19
3 & 4	3,5	0,34	2,53	0,09	0,64	4,69	1,19
5 & 2	3,5	0,34	2,53	0,09	0,64	4,69	1,19
7	7	1,04	7,69	0,53	3,92	14,26	7,26
11	7	1,04	7,69	0,53	3,92	14,26	7,26
9	7	1,04	7,69	0,53	3,92	14,26	7,26

- Menggunakan WP = 8 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp/jam  
 $\mu$  = 450 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{450 - (1571/6)} = 1,391 = 2 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{450(450 - (1571/6))} = 0,809 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{450 - (1571/6)} \times 3600 = 19,127 = 20 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{450(450 - (1571/6))} \times 3600 = 11,13 = 12 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 8 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.39:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	8	1,39	10,32	0,81	6,00	19,13	11,13
3	8	1,39	10,32	0,81	6,00	19,13	11,13
5	8	1,39	10,32	0,81	6,00	19,13	11,13
7	8	1,39	10,32	0,81	6,00	19,13	11,13
11	8	1,39	10,32	0,81	6,00	19,13	11,13
9	8	1,39	10,32	0,81	6,00	19,13	11,13

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap



6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 8 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.40:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64
3 & 4	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64
5 & 2	4	0,41	3,04	0,12	0,89	5,64	1,64
7	8	1,39	10,32	0,81	6,00	19,13	11,13
11	8	1,39	10,32	0,81	6,00	19,13	11,13
9	8	1,39	10,32	0,81	6,00	19,13	11,13

- Menggunakan WP = 9 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp/jam  
 $\mu$  = 400 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{400 - (1571/6)} = 1,894 = 2 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{400(400 - (1571/6))} = 1,24 = 2 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{400 - (1571/6)} \times 3600 = 26,046 = 26 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{450(450 - (1571/6))} \times 3600 = 17,05 = 17 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 9 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.41:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	9	1,89	14,05	1,24	9,20	26,05	17,05
3	9	1,89	14,05	1,24	9,20	26,05	17,05
5	9	1,89	14,05	1,24	9,20	26,05	17,05
7	9	1,89	14,05	1,24	9,20	26,05	17,05
11	9	1,89	14,05	1,24	9,20	26,05	17,05
9	9	1,89	14,05	1,24	9,20	26,05	17,05

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap

6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 9 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.42:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	4,5	0,49	3,61	0,16	1,18	6,69	2,19
3 & 4	4,5	0,49	3,61	0,16	1,18	6,69	2,19
5 & 2	4,5	0,49	3,61	0,16	1,18	6,69	2,19
7	9	1,89	14,05	1,24	9,20	26,05	17,05
11	9	1,89	14,05	1,24	9,20	26,05	17,05
9	9	1,89	14,05	1,24	9,20	26,05	17,05

- Menggunakan WP = 10 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp/jam  
 $\mu$  = 360 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{360 - (1571/6)} = 2,665 = 3 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{360(360 - (1571/6))} = 1,938 = 2 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{360 - (1571/6)} \times 3600 = 36,65 = 37 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{360(360 - (1571/6))} \times 3600 = 26,65 = 27 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 10 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.43:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
3	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
5	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
7	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
11	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
9	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap



6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 10 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.44:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
3 & 4	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
5 & 2	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
7	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
11	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
9	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65

- Menggunakan WP = 11 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp/jam  
 $\mu$  = 328 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{328 - (1571/6)} = 3,997 = 4 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{328(328 - (1571/6))} = 3,197 = 4 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{328 - (1571/6)} \times 3600 = 54,971 = 55 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{328(328 - (1571/6))} \times 3600 = 43,97 = 44 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 11 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.45:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	11	4,00	29,66	3,20	23,73	54,97	43,97
3	11	4,00	29,66	3,20	23,73	54,97	43,97
5	11	4,00	29,66	3,20	23,73	54,97	43,97
7	11	4,00	29,66	3,20	23,73	54,97	43,97
11	11	4,00	29,66	3,20	23,73	54,97	43,97
9	11	4,00	29,66	3,20	23,73	54,97	43,97

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap

6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 11 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.46:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	5,5	0,67	4,95	0,27	1,98	9,17	3,67
3 & 4	5,5	0,67	4,95	0,27	1,98	9,17	3,67
5 & 2	5,5	0,67	4,95	0,27	1,98	9,17	3,67
7	11	4,00	29,66	3,20	23,73	54,97	43,97
11	11	4,00	29,66	3,20	23,73	54,97	43,97
9	11	4,00	29,66	3,20	23,73	54,97	43,97

- Menggunakan WP = 12 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp/jam  
 $\mu$  = 300 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{300 - (1571/6)} = 6,85 = 7 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{300(300 - (1571/6))} = 5,977 = 6 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{300 - (1571/6)} \times 3600 = 94,2 = 95 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{300(300 - (1571/6))} \times 3600 = 82,2 = 83 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 12 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.47:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	12	6,85	50,83	5,98	44,35	94,20	82,20
3	12	6,85	50,83	5,98	44,35	94,20	82,20
5	12	6,85	50,83	5,98	44,35	94,20	82,20
7	12	6,85	50,83	5,98	44,35	94,20	82,20
11	12	6,85	50,83	5,98	44,35	94,20	82,20
9	12	6,85	50,83	5,98	44,35	94,20	82,20

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap



6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 12 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.49:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64
3 & 4	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64
5 & 2	6	0,77	5,74	0,34	2,51	10,64	4,64
7	12	6,85	50,83	5,98	44,35	94,20	82,20
11	12	6,85	50,83	5,98	44,35	94,20	82,20
9	12	6,85	50,83	5,98	44,35	94,20	82,20

- Menggunakan WP = 13 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp/jam  
 $\mu$  = 277 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{277 - (1571/6)} = 17,291 = 18 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{277(277 - (1571/6))} = 16,35 = 17 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{277 - (1571/6)} \times 3600 = 237,78 = 238 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{277(277 - (1571/6))} \times 3600 = 225 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 13 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.50:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
3	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
5	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
7	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
11	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
9	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78

Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap

6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 13 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.51:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	6,5	0,90	6,65	0,42	3,14	12,33	5,83
3 & 4	6,5	0,90	6,65	0,42	3,14	12,33	5,83
5 & 2	6,5	0,90	6,65	0,42	3,14	12,33	5,83
7	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
11	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
9	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78

## 2. Analisa Antrian pada Gerbang Tol Waru Utama

Pendekatan stasiun berganda (spacing = 7,84 m/smp)

- Menggunakan WP = 3 detik/smp
- Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 1200 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{1200 - (1742/7)} = 0,262 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{1200(1200 - (1742/7))} = 0,054 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{1200 - (1742/7)} \times 3600 = 3,78 = 4 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{1200(1200 - (1742/7))} \times 3600 = 0,78 = 1 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 3 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.52:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
4	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
6	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
8	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
10	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
12	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
14	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78



Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 3 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.53:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	1,5	0,12	0,91	0,01	0,09	1,67	0,17
4 & 1	1,5	0,12	0,91	0,01	0,09	1,67	0,17
6	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
8	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
10	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
12	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
14	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78

- Menggunakan WP = 4 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 900 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)} \\
 &= \frac{1742/7}{900 - (1742/7)} = 0,382 = 1 \text{ smp} \\
 q &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{900(900 - (1742/7))} = 0,105 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{900 - (1742/7)} \times 3600 = 5,53 = 6 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{900(900 - (1742/7))} \times 3600 = 1,53 = 2 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 4 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.54:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
4	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
6	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
8	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
10	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
12	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
14	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53

Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu

disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 4 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.55:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	2	0,16	1,26	0,02	0,17	2,32	0,32
4 & 1	2	0,16	1,26	0,02	0,17	2,32	0,32
6	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
8	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
10	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
12	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
14	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53

- Menggunakan WP = 5 detik/smp  
Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 720 smp/jam  
N = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{720 - (1742/7)} = 0,528 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{720(720 - (1742/7))} = 0,182 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{720 - (1742/7)} \times 3600 = 7,639 = 8 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{720(720 - (1742/7))} \times 3600 = 2,639 = 3 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 5 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.56:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
4	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
6	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
8	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
10	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
12	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
14	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64

Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem



dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 5 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.57:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	2,5	0,21	1,64	0,04	0,28	3,02	0,52
4 & 1	2,5	0,21	1,64	0,04	0,28	3,02	0,52
6	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
8	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
10	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
12	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
14	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64

- Menggunakan WP = 6 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 600 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{600 - (1742/7)} = 0,708 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{600(600 - (1742/7))} = 0,294 = 1 \text{ smp}$$

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
 &= \frac{1}{600 - (1742/7)} \times 3600 = 10,25 = 11 \text{ detik} \\
 w &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu} \\
 &= \frac{(1742/7)}{600(600 - (1742/7))} \times 3600 = 4,25 = 5 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 6 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.58:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
4	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
6	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
8	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
10	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
12	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
14	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25

Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada

lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 6 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.59:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
4 & 1	3	0,26	2,05	0,05	0,43	3,78	0,78
6	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
8	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
10	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
12	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
14	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25

- Menggunakan WP = 7 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 515 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{515 - (1742/7)} = 0,937 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{515(515 - (1742/7))} = 0,453 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{515 - (1742/7)} \times 3600 = 13,558 = 14 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/2)}{515(515 - (1742/7))} \times 3600 = 6,558 = 7 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 7 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.60:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
4	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
6	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
8	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
10	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
12	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
14	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56

Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.



Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 7 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.61:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	3,5	0,32	2,50	0,08	0,60	4,62	1,12
4 & 1	3,5	0,32	2,50	0,08	0,60	4,62	1,12
6	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
8	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
10	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
12	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
14	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56

- Menggunakan WP = 8 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 450 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{450 - (1742/7)} = 1,236 = 2 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{450(450 - (1742/7))} = 0,683 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{450 - (1742/7)} \times 3600 = 17,889 = 18 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{450(450 - (1742/7))} \times 3600 = 9,889 = 10 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 8 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.62:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89
4	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89
6	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89
8	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89
10	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89
12	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89
14	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89

Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 8 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.63:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
4 & 1	4	0,38	2,99	0,11	0,83	5,53	1,53
6	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89
8	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89
10	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89
12	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89
14	8	1,24	9,69	0,68	5,36	17,89	9,89

- Menggunakan WP = 9 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 400 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{400 - (1742/7)} = 1,645 = 2 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{400(400 - (1742/7))} = 1,023 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{400 - (1742/7)} \times 3600 = 23,804 = 24 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{450(450 - (1742/7))} \times 3600 = 14,8 = 15 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 9 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.64:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80
4	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80
6	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80
8	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80
10	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80
12	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80
14	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80

Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.



Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 9 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.65:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	4,5	0,45	3,54	0,14	1,10	6,53	2,03
4 & 1	4,5	0,45	3,54	0,14	1,10	6,53	2,03
6	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80
8	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80
10	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80
12	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80
14	9	1,64	12,90	1,02	8,02	23,80	14,80

- Menggunakan WP = 10 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 360 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{360 - (1742/7)} = 2,236 = 3 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{360(360 - (1742/7))} = 1,545 = 2 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{360 - (1742/7)} \times 3600 = 32,36 = 33 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{360(360 - (1742/7))} \times 3600 = 22,36 = 23 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 10 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.66:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
4	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
6	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
8	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
10	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
12	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
14	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36

Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 10 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.67:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
4 & 1	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
6	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
8	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
10	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
12	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
14	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36

- Menggunakan WP = 11 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 328 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{328 - (1742/7)} = 3,169 = 4 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{328(328 - (1742/7))} = 2,409 = 3 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{328 - (1742/7)} \times 3600 = 45,85 = 46 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{328(328 - (1742/7))} \times 3600 = 34,85 = 35 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 11 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.68:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85
4	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85
6	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85
8	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85
10	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85
12	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85
14	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85

Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.



Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 11 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.69:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	5,5	0,61	4,81	0,23	1,83	8,87	3,37
4 & 1	5,5	0,61	4,81	0,23	1,83	8,87	3,37
6	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85
8	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85
10	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85
12	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85
14	11	3,17	24,84	2,41	18,88	45,85	34,85

- Menggunakan WP = 12 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 300 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{300 - (1742/7)} = 4,855 = 5 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{300(300 - (1742/7))} = 4,026 = 4 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{300 - (1742/7)} \times 3600 = 70,26 = 71 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{300(300 - (1742/7))} \times 3600 = 58,26 = 59 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 12 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.70:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26
4	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26
6	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26
8	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26
10	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26
12	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26
14	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26

Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 12 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.71:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 12 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
4 & 1	6	0,71	5,55	0,29	2,30	10,25	4,25
6	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26
8	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26
10	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26
12	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26
14	12	4,86	38,07	4,03	31,56	70,26	58,26

- Menggunakan WP = 13 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 277 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{277 - (1742/7)} = 8,83 = 9 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{277(277 - (1742/7))} = 7,94 = 8 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{277 - (1742/7)} \times 3600 = 127,85 = 128 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{277(277 - (1742/7))} \times 3600 = 115 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 13 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.72:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85
4	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85
6	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85
8	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85
10	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85
12	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85
14	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85

Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.



Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 13 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.73:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	6,5	0,82	6,39	0,37	2,87	11,80	5,30
4 & 1	6,5	0,82	6,39	0,37	2,87	11,80	5,30
6	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85
8	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85
10	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85
12	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85
14	13	8,83	69,26	7,94	62,22	127,85	114,85

- Menggunakan WP = 14 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 258 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{258 - (1742/7)} = 29,69 = 30 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{258(258 - (1742/7))} = 28,72 = 29 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{258 - (1742/7)} \times 3600 = 429,7 = 430 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{258(258 - (1742/7))} \times 3600 = 416 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 14 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.74:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
4	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
6	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
8	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
10	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
12	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
14	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67

Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 14 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.75:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
4 & 1	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
6	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
8	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
10	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
12	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
14	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67

### 3. Analisa Antrian pada Gerbang Tol Dupak 3

Pendekatan stasiun berganda (spacing = 7,28 m/smp)

- Menggunakan WP = 3 detik/smp

Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam

$\mu$  = 1200 smp/jam

N = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1943/6}{1200 - (1943/6)} = 0,369 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1943/6)^2}{1200(1200 - (1943/6))} = 0,099 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{1200 - (1943/6)} \times 3600 = 4,109 = 5 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1943/6)}{1200(1200 - (1943/6))} \times 3600 = 1,11 = 2 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 3 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.76:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 3 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	0,37	2,69	0,10	0,73	4,11	1,11
7	0,30	2,19	0,07	0,51	3,90	0,90
8	0,25	1,85	0,05	0,37	3,76	0,76
9	0,22	1,60	0,04	0,29	3,66	0,66

- Menggunakan WP = 4 detik/smp
- Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam  
 $\mu$  = 900 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)



$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)} \\
 &= \frac{1943/6}{900 - (1943/6)} = 0,562 = 1 \text{ smp} \\
 q &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)} \\
 &= \frac{(1943/6)^2}{900(900 - (1943/6))} = 0,202 = 1 \text{ smp} \\
 d &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
 &= \frac{1}{900 - (1943/6)} \times 3600 = 6,248 = 7 \text{ detik} \\
 w &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu} \\
 &= \frac{(1943/6)}{900(900 - (1943/6))} \times 3600 = 2,25 = 3 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 4 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.77:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 4 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	0,56	4,09	0,20	1,47	6,25	2,25
7	0,45	3,24	0,14	1,00	5,78	1,78
8	0,37	2,69	0,10	0,73	5,48	1,48
9	0,32	2,30	0,08	0,55	5,26	1,26

- Menggunakan WP = 5 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam  
 $\mu$  = 720 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1943/6}{720 - (1943/6)} = 0,82 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1943/6)^2}{720(720 - (1943/6))} = 0,37 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{720 - (1943/6)} \times 3600 = 9,08 = 9 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1943/6)}{720(720 - (1943/6))} \times 3600 = 4,08 = 4 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 5 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.78:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	0,82	5,95	0,37	2,67	9,08	4,08
7	0,63	4,56	0,24	1,76	8,13	3,13
8	0,51	3,70	0,17	1,25	7,54	2,54
9	0,43	3,12	0,13	0,93	7,14	2,14

- Menggunakan WP = 6 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam  
 $\mu$  = 600 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1943/6}{600 - (1943/6)} = 1,17 = 2 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1943/6)^2}{600(600 - (1943/6))} = 0,63 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{600 - (1943/6)} \times 3600 = 13,03 = 13 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1943/6)}{600(600 - (1943/6))} \times 3600 = 7,03 = 7 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 6 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :



**Tabel 5.79:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 6 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	1,17	8,53	0,63	4,60	13,03	7,03
7	0,86	6,26	0,40	2,90	11,16	5,16
8	0,68	4,95	0,27	2,00	10,08	4,08
9	0,56	4,09	0,20	1,47	9,37	3,37

- Menggunakan WP = 7 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam  
 $\mu$  = 515 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1943/6}{515 - (1943/6)} = 1,7 = 2 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1943/6)^2}{515(515 - (1943/6))} = 1,07 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{515 - (1943/6)} \times 3600 = 18,99 = 19 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1943/6)}{515(515 - (1943/6))} \times 3600 = 11,89 = 12 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 7 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.80:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 7 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	1,70	12,36	1,07	7,78	18,89	11,89
7	1,17	8,53	0,63	4,60	15,20	8,20
8	0,89	6,51	0,42	3,07	13,26	6,26
9	0,72	5,26	0,30	2,21	12,06	5,06

- Menggunakan WP = 8 detik/smp

Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam

$\mu$  = 450 smp/jam

N = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1943/6}{450 - (1943/6)} = 2,56 = 3 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1943/6)^2}{450(450 - (1943/6))} = 1,84 = 2 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{450 - (1943/6)} \times 3600 = 28,5 = 29 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1943/6)}{450(450 - (1943/6))} \times 3600 = 20,5 = 11 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 8 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.81:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 8 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	2,56	18,65	1,84	13,42	28,50	20,50
7	1,61	11,71	0,99	7,22	20,86	12,86
8	1,17	8,53	0,63	4,60	17,37	9,37
9	0,92	6,71	0,44	3,22	15,37	7,37

- Menggunakan WP = 9 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam  
 $\mu$  = 400 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1943/6}{400 - (1943/6)} = 4,24 = 5 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1943/6)^2}{400(400 - (1943/6))} = 3,43 = 4 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{400 - (1943/6)} \times 3600 = 47,17 = 48 \text{ detik}$$



$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1943/6)}{450(450 - (1943/6))} \times 3600 = 38,17 = 39 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 9 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.82:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 9 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	4,24	30,88	3,43	24,99	47,17	38,17
7	2,26	16,48	1,57	11,43	29,37	20,37
8	1,54	11,24	0,94	6,82	22,90	13,90
9	1,17	8,53	0,63	4,60	19,54	10,54

- Menggunakan WP = 10 detik/smp  
Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam  
 $\mu$  = 360 smp/jam  
N = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1943/6}{360 - (1943/6)} = 8,91 = 9 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1943/6)^2}{360(360 - (1943/6))} = 8,01 = 8 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{360 - (1943/6)} \times 3600 = 99,13 = 100 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1943/6)}{360(360 - (1943/6))} \times 3600 = 89,13 = 90 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 10 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.83:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	8,91	64,89	8,01	58,34	99,13	89,13
7	3,36	24,47	2,59	18,85	43,61	33,61
8	2,07	15,07	1,40	10,17	30,71	20,71
9	1,50	10,89	0,90	6,53	24,96	14,96

- Menggunakan WP = 11 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam  
 $\mu$  = 328 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1943/6}{328 - (1943/6)} = 90,18 = 91 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1943/6)^2}{328(328 - (1943/6))} = 89,19 = 90 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{328 - (1943/6)} \times 3600 = 1002,9 = 1003 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1943/6)}{328(328 - (1943/6))} \times 3600 = 992 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 11 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.84:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	90,18	656,49	89,19	649,29	1002,95	991,95
7	5,57	40,53	4,72	34,36	72,25	61,25
8	2,87	20,91	2,13	15,51	42,60	31,60
9	1,94	14,09	1,28	9,29	32,29	21,29

### 5.5 Sketsa Antrian

Dalam melakukan sketsa antrian ini dilakukan dengan menggunakan 3 waktu pelayanan, yaitu waktu pelayanan rata-rata, waktu pelayanan maksimum ketika survey, dan waktu pelayanan maksimal pada analisa intensitas lalu lintas dan juga dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian dan beroperasi penuh.

1. Analisa Antrian pada Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Pendekatan stasiun berganda.



Dengan menggunakan headway = 5,3 detik; kecepatan rata-rata = 5 km/jam; maka didapat spacing sebesar 7,42 m/smp.

- Menggunakan WP rata-rata = 5,3 detik/smp

Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp/jam  
 $\mu$  = 679 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{679 - (1571/6)} = 0,63 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{679(679 - (1571/6))} = 0,24 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{679 - (1571/6)} \times 3600 = 8,62 = 9 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{679(679 - (1571/6))} \times 3600 = 3,32 = 4 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 5,3 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu

terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.85:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5,3 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	5,3	0,63	4,65	0,24	1,79	8,62	3,32
3	5,3	0,63	4,65	0,24	1,79	8,62	3,32
5	5,3	0,63	4,65	0,24	1,79	8,62	3,32
7	5,3	0,63	4,65	0,24	1,79	8,62	3,32
11	5,3	0,63	4,65	0,24	1,79	8,62	3,32
9	5,3	0,63	4,65	0,24	1,79	8,62	3,32

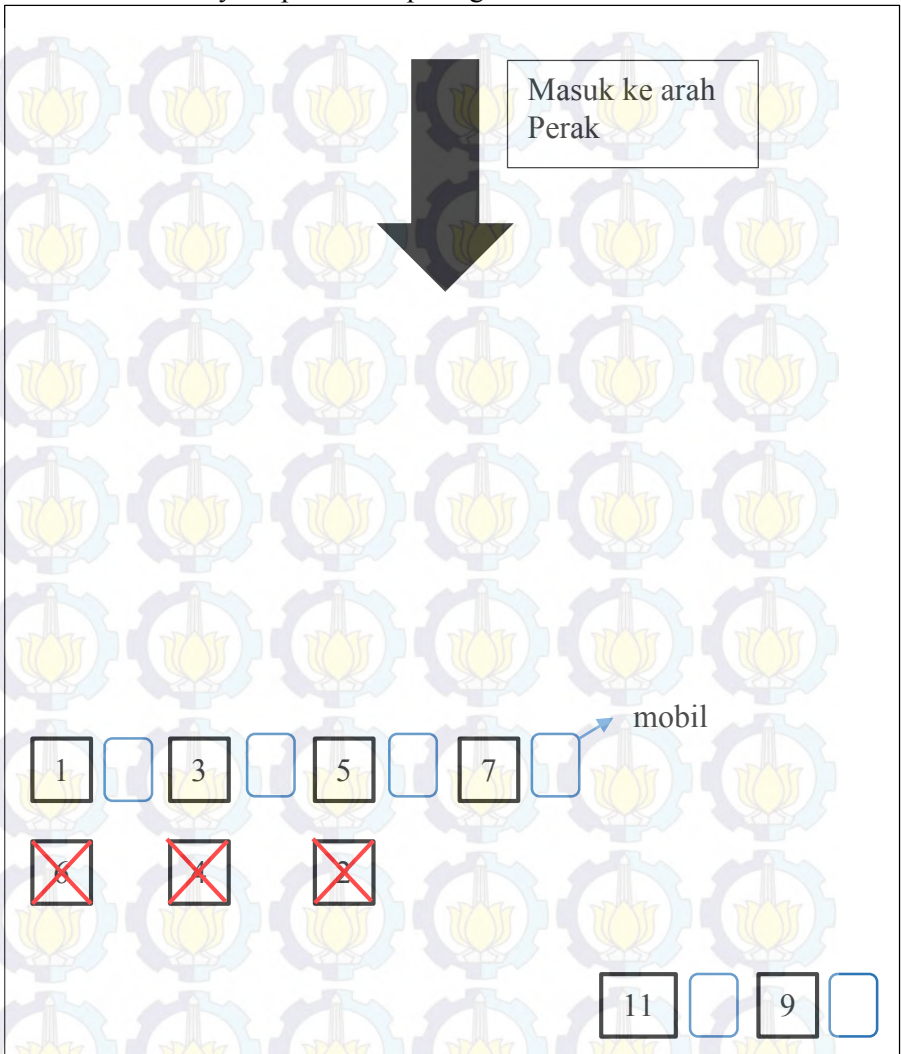
Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 5,3 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

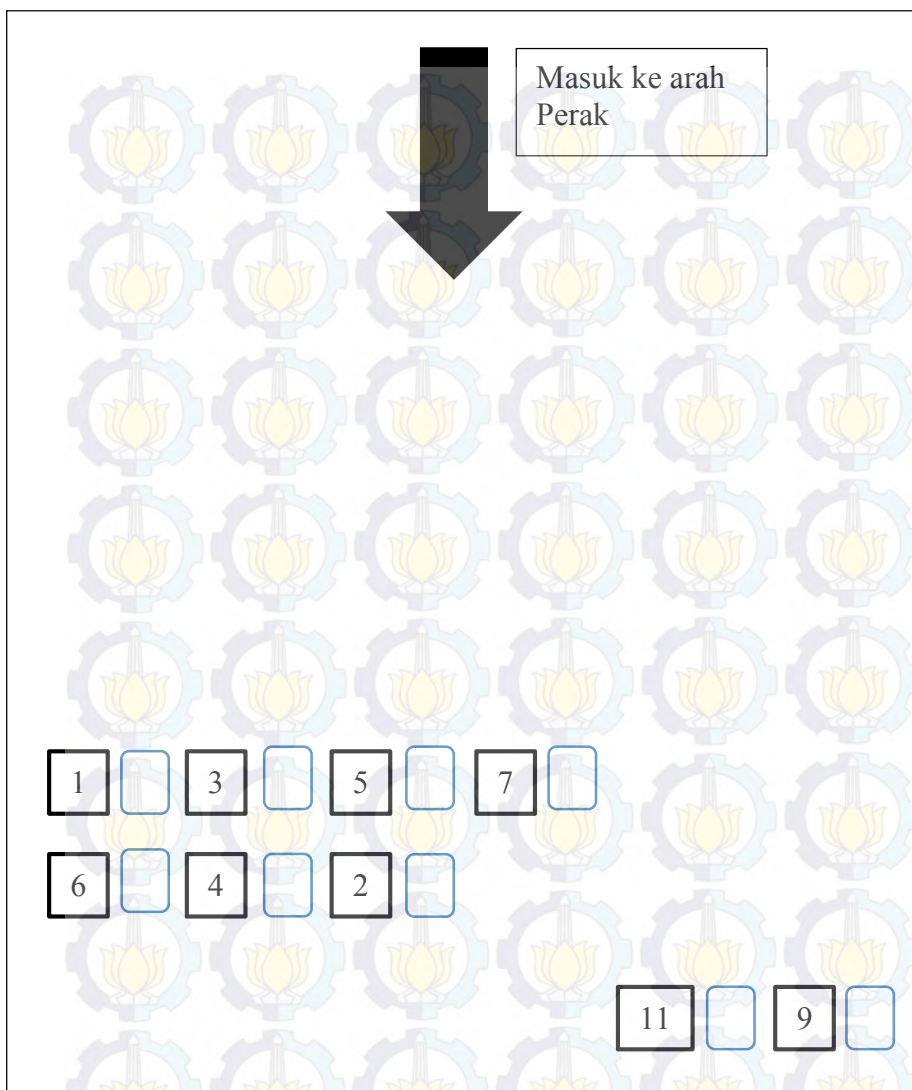
**Tabel 5.86:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5,3 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	2,65	0,24	1,77	0,05	0,34	3,28	0,63
3 & 4	2,65	0,24	1,77	0,05	0,34	3,28	0,63
5 & 2	2,65	0,24	1,77	0,05	0,34	3,28	0,63
7	5,3	0,63	4,65	0,24	1,79	8,62	3,32
11	5,3	0,63	4,65	0,24	1,79	8,62	3,32
9	5,3	0,63	4,65	0,24	1,79	8,62	3,32

Sketsa antriannya dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 5.5 :** Sketsa antrian gerbang tol Waru 1 dan Ramp kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 5,3 detik



**Gambar 5.6 :** Sketsa antrian gerbang tol Waru 1 dan Ramp kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 5,3 detik



- Menggunakan WP maksimal survey = 10 detik/smp

Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp/jam  
 $\mu$  = 360 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{360 - (1571/6)} = 2,665 = 3 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{360(360 - (1571/6))} = 1,938 = 2 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{360 - (1571/6)} \times 3600 = 36,65 = 37 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{360(360 - (1571/6))} \times 3600 = 26,65 = 27 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 10 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.87:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
3	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
5	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
7	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
11	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
9	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65

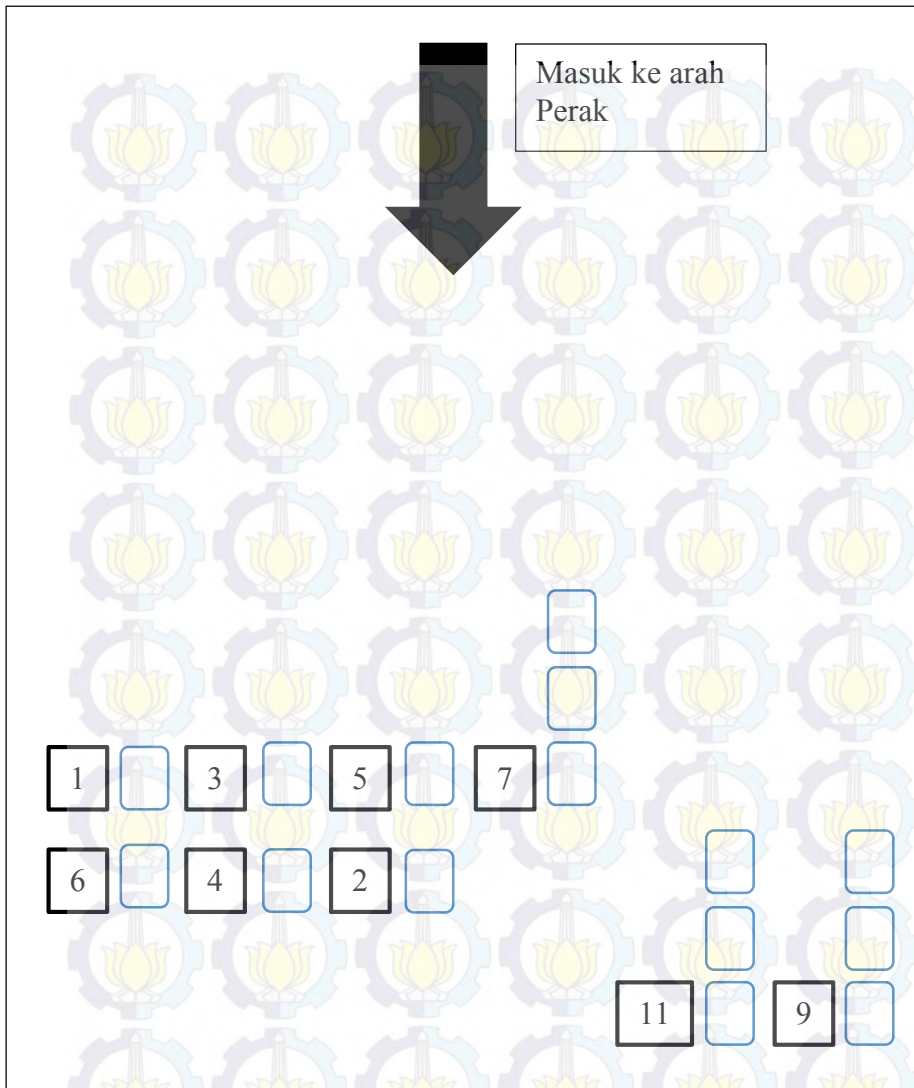
Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 10 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.88:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
3 & 4	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
5 & 2	5	0,57	4,24	0,21	1,54	7,86	2,86
7	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
11	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65
9	10	2,67	19,78	1,94	14,38	36,65	26,65





**Gambar 5.8 :** Sketsa antrian gerbang tol Waru 1 dan Ramp kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 10 detik



- Menggunakan WP = 13 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1571 smp/jam  
 $\mu$  = 277 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1571/6}{277 - (1571/6)} = 17,291 = 18 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1571/6)^2}{277(277 - (1571/6))} = 16,35 = 17 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{277 - (1571/6)} \times 3600 = 237,78 = 238 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1571/6)}{277(277 - (1571/6))} \times 3600 = 225 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 13 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu terbuka sehingga terdapat 6 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.89:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
3	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
5	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
7	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
11	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
9	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78

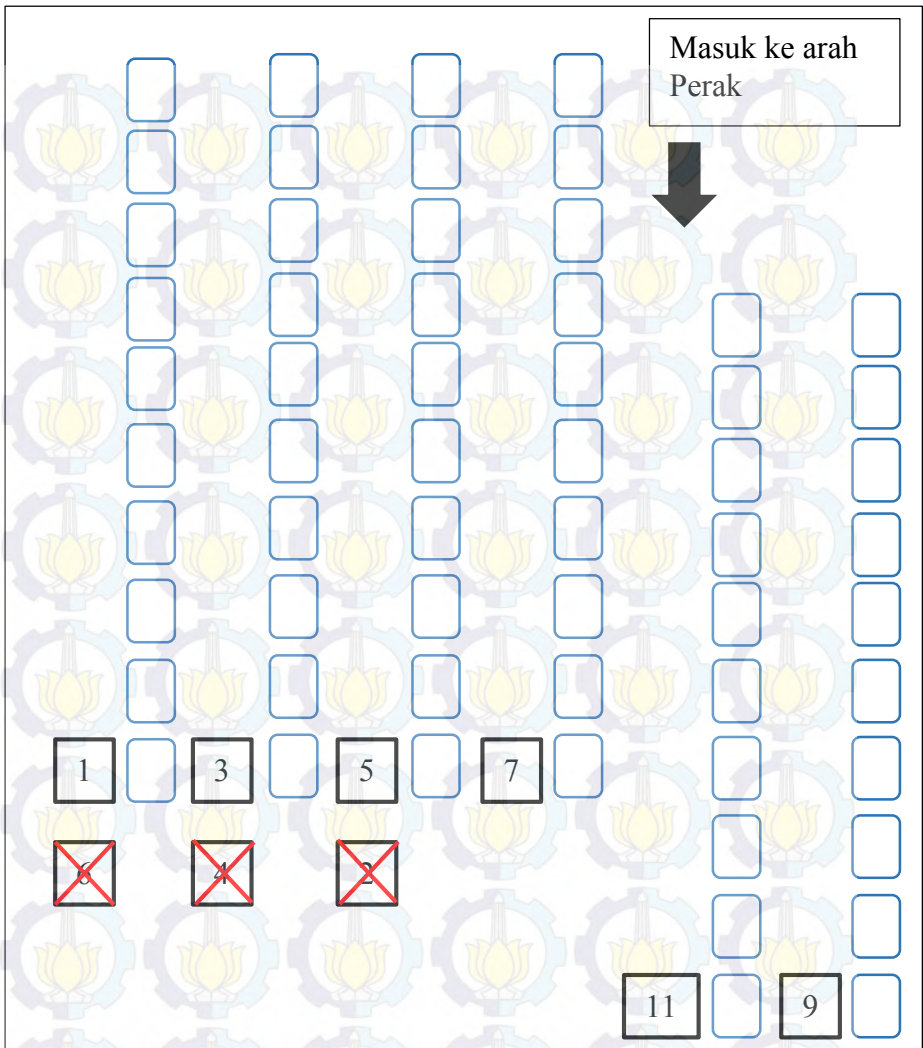
Untuk kondisi gerbang tol Waru 1 dan Ramp yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 6 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 6, 4, dan 2 posisinya bertandem dengan gardu 1, 3, dan 5, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 13 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

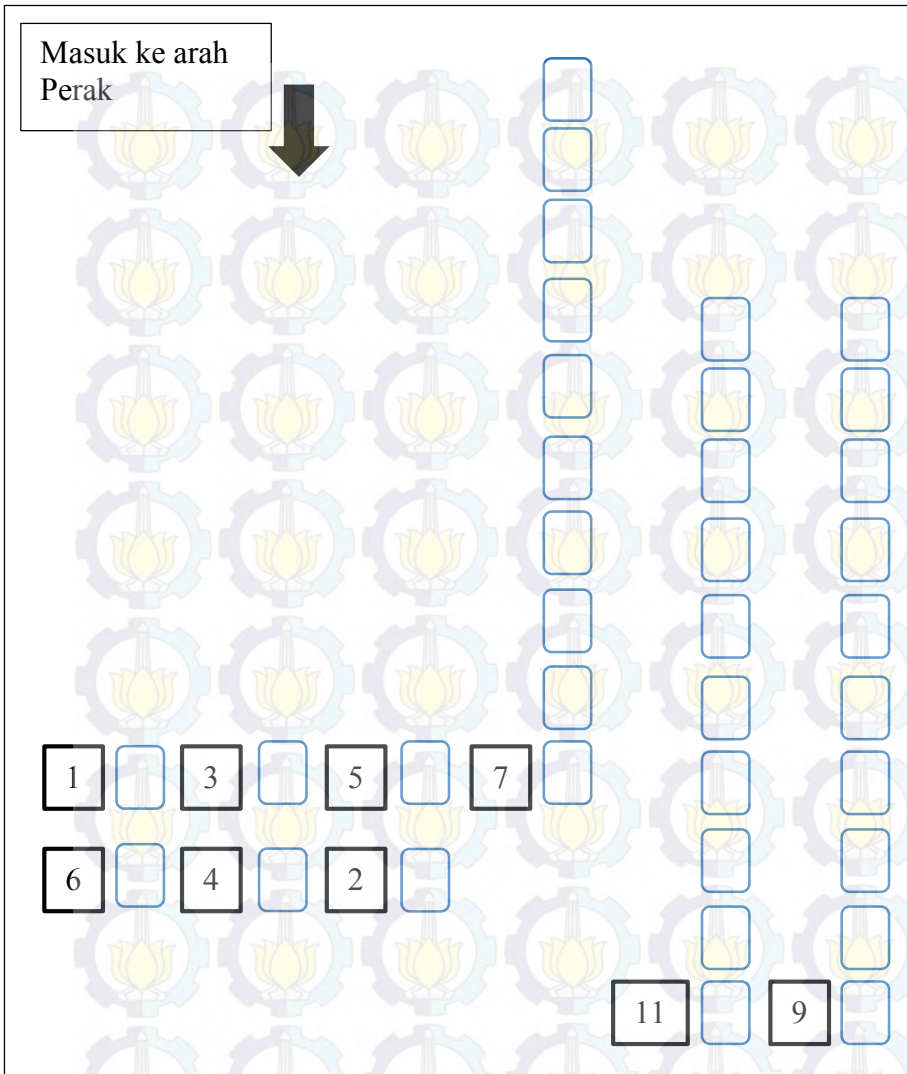
**Tabel 5.64:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 13 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1 & 6	6,5	0,90	6,65	0,42	3,14	12,33	5,83
3 & 4	6,5	0,90	6,65	0,42	3,14	12,33	5,83
5 & 2	6,5	0,90	6,65	0,42	3,14	12,33	5,83
7	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
11	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78
9	13	17,29	128,30	16,35	121,29	237,78	224,78

Sketsa antriannya dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 5.9 :** Sketsa antrian gerbang tol Waru 1 dan Ramp kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 13 detik



**Gambar 5.10** : Sketsa antrian gerbang tol Waru 1 dan Ramp kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 13 detik



2. Analisa Antrian pada Gerbang Tol Waru Utama  
Pendekatan stasiun berganda (spacing = 7,84 m/smp)

- Menggunakan WP rata-rata = 5,6 detik/smp

Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 643 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{643 - (1742/7)} = 0,63 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{643(643 - (1742/7))} = 0,24 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{643 - (1742/7)} \times 3600 = 9,13 = 10 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{1200(1200 - (1742/7))} \times 3600 = 3,53 = 4 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 5,6 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu

terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.90:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5,6 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53
4	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53
6	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53
8	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53
10	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53
12	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53
14	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53

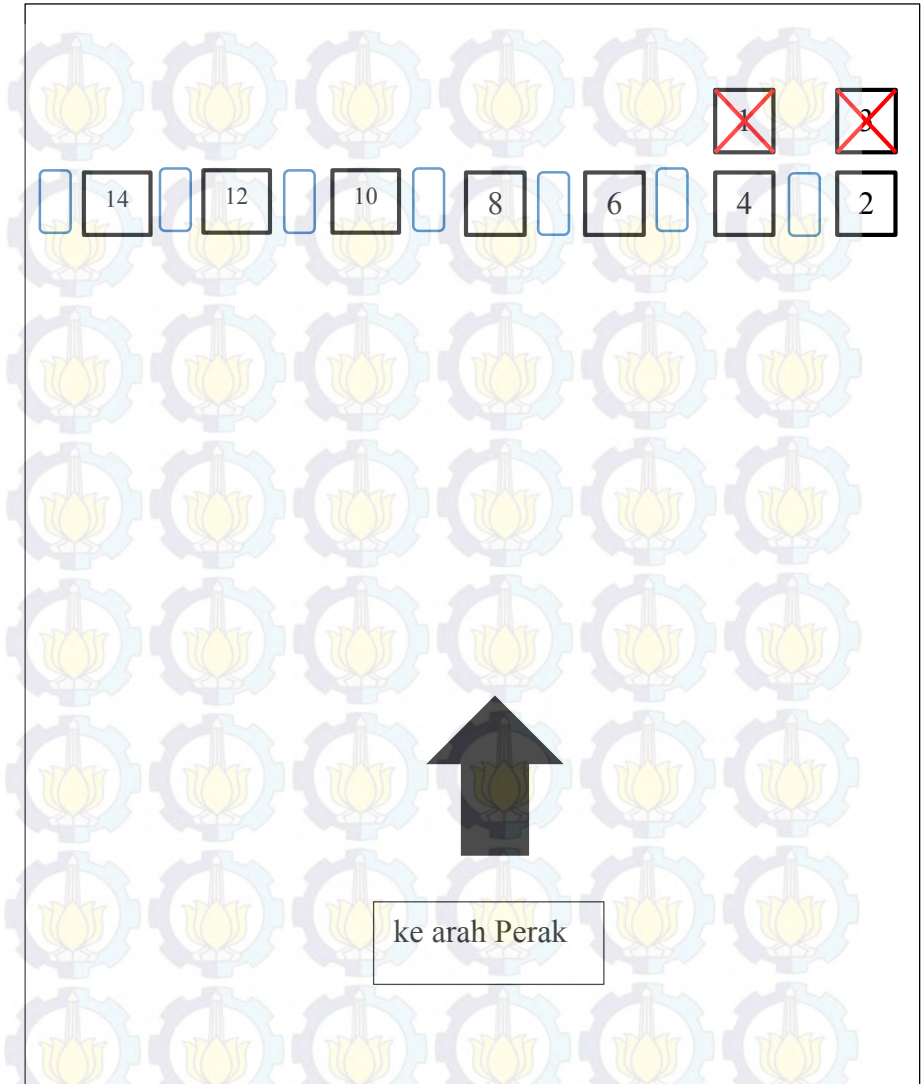
Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 5,6 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

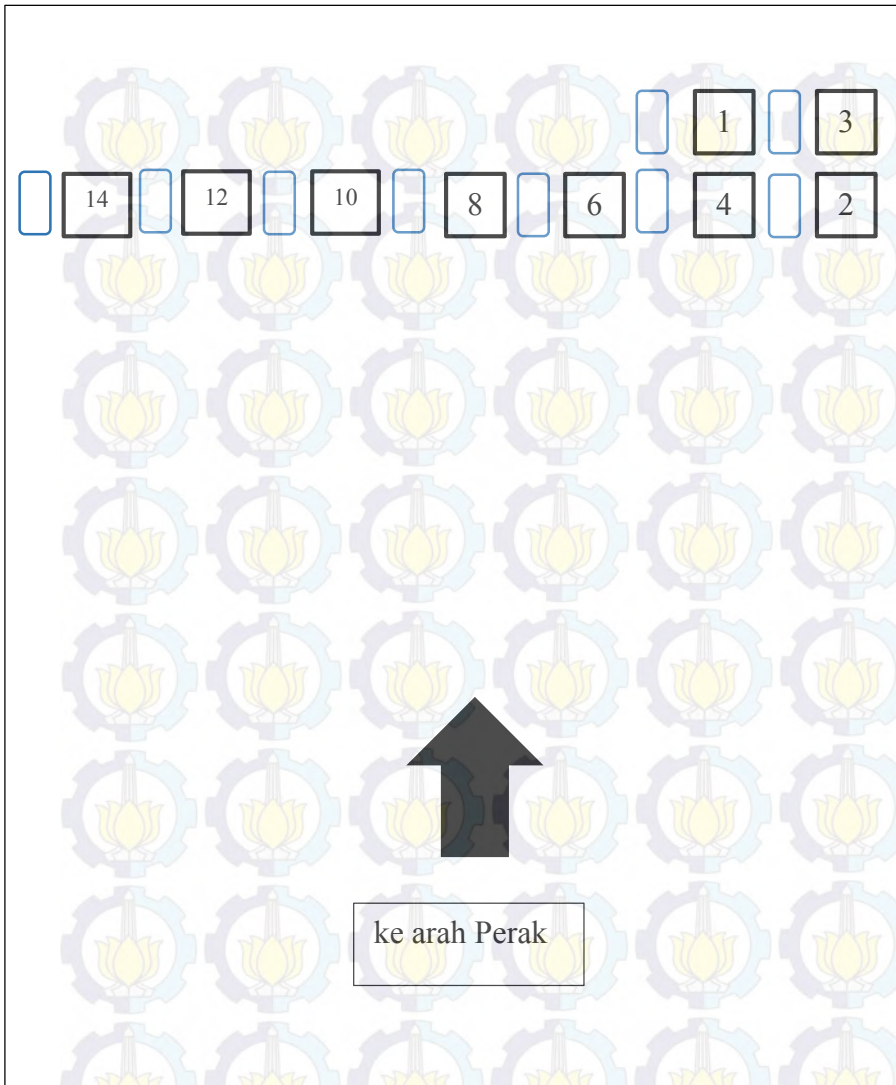
**Tabel 5.91:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5,6 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	2,8	0,24	1,88	0,05	0,36	3,47	0,67
4 & 1	2,8	0,24	1,88	0,05	0,36	3,47	0,67
6	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53
8	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53
10	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53
12	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53
14	5,6	0,63	4,95	0,24	1,92	9,13	3,53

Sketsa antriannya dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 5.11** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 5,6 detik



**Gambar 5.12** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 5,6 detik



- Menggunakan WP maksimal survey = 10 detik/smp

Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 360 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1742/7}{360 - (1742/7)} = 2,236 = 3 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1742/7)^2}{360(360 - (1742/7))} = 1,545 = 2 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{360 - (1742/7)} \times 3600 = 32,36 = 33 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1742/7)}{360(360 - (1742/7))} \times 3600 = 22,36 = 23 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 10 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.92:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
4	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
6	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
8	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
10	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
12	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
14	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36

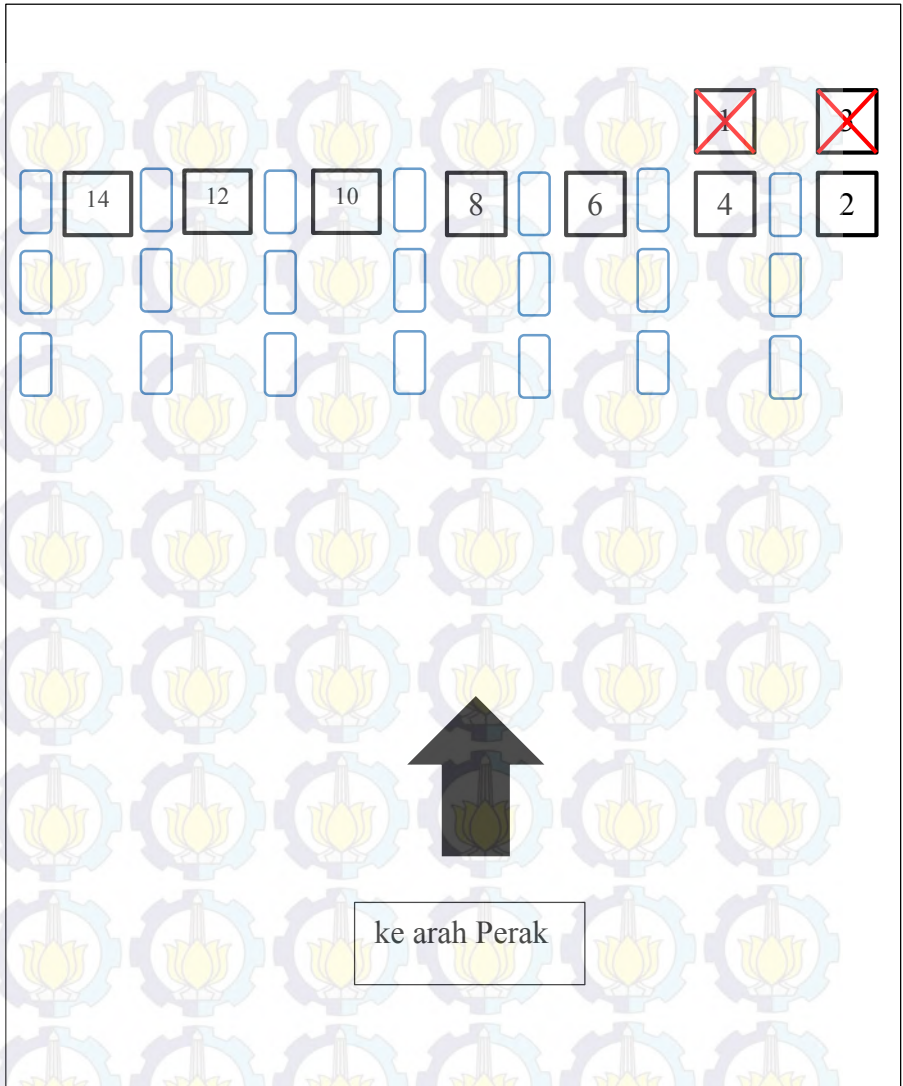
Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 10 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

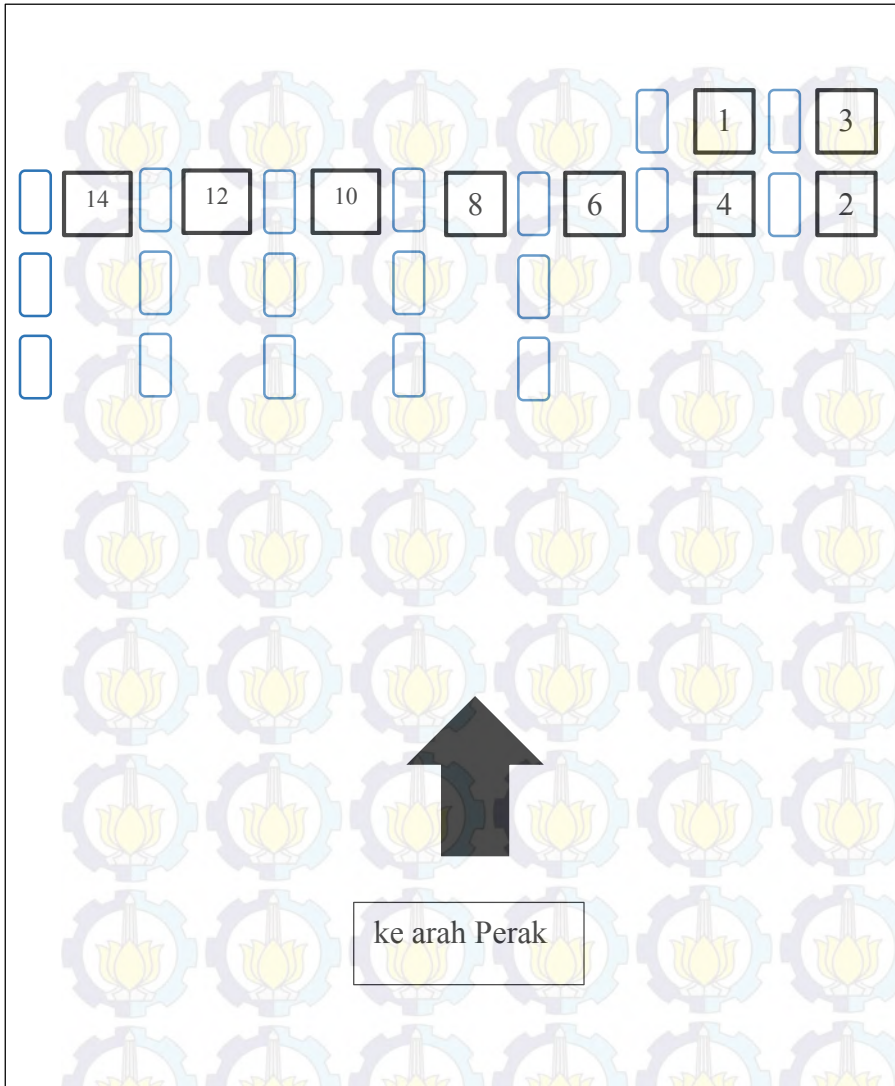
**Tabel 5.93:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
4 & 1	5	0,53	4,14	0,18	1,43	7,64	2,64
6	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
8	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
10	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
12	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36
14	10	2,24	17,53	1,55	12,12	32,36	22,36

Sketsa antriannya dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 5.13** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 10 detik



**Gambar 5.14** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 10 detik



- Menggunakan WP = 14 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1742 smp/jam  
 $\mu$  = 258 smp/jam  
 $N$  = 7 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)} \\
 &= \frac{1742/7}{258 - (1742/7)} = 29,69 = 30 \text{ smp} \\
 q &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)} \\
 &= \frac{(1742/7)^2}{258(258 - (1742/7))} = 28,72 = 29 \text{ smp} \\
 d &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
 &= \frac{1}{258 - (1742/7)} \times 3600 = 429,7 = 430 \text{ detik} \\
 w &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu} \\
 &= \frac{(1742/7)}{258(258 - (1742/7))} \times 3600 = 416 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 14 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (7 gardu terbuka sehingga terdapat 7 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5.94:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Sebagian Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 dtk

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
4	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
6	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
8	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
10	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
12	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
14	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67

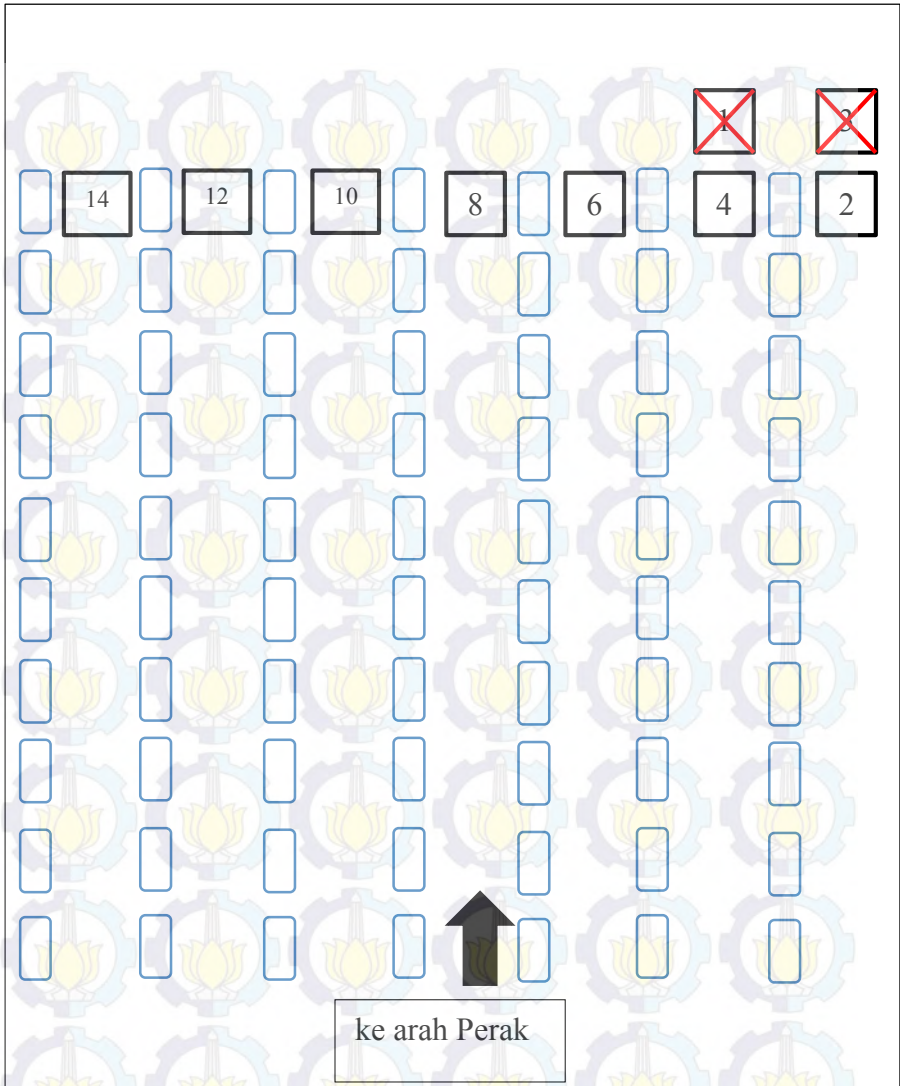
Untuk kondisi gerbang tol Waru Utama yang beroperasi penuh (9 gardu terbuka) lajur antrian yang terjadi tetap 7 lajur, itu disebabkan karena untuk gardu 3 dan 1 posisinya bertandem dengan gardu 2 dan 4, sehingga waktu pelayanan yang terjadi pada lajur dengan gardu bersistem tandem akan dibagi 2 karena pada lajur tersebut terdapat 2 gardu yang beroperasi.

Hasil perhitungan antrian pada gerbang tol Waru Utama dengan kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 14 detik selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

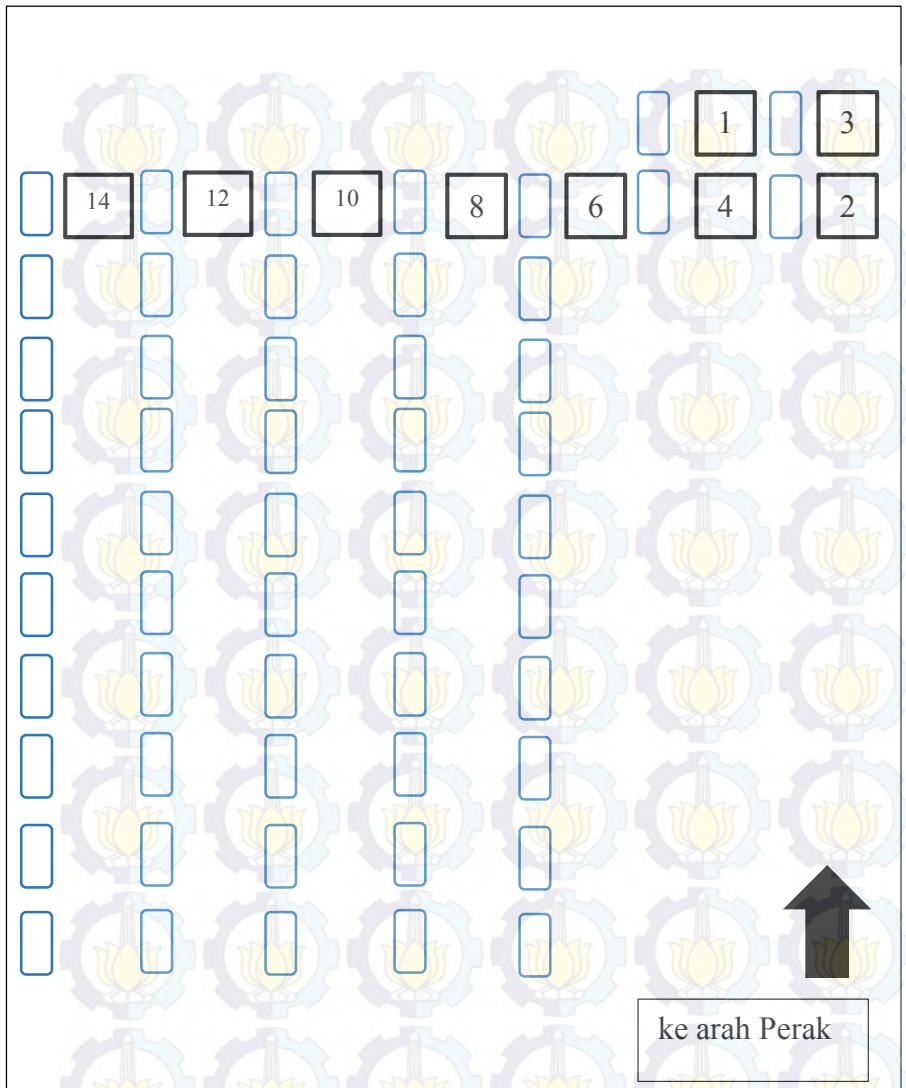
**Tabel 5.95:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Waru Utama Beroperasi Penuh Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 14 detik

Gardu	WP	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2 & 3	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
4 & 1	7	0,94	7,35	0,45	3,55	13,56	6,56
6	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
8	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
10	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
12	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67
14	14	29,69	232,77	28,72	225,19	429,67	415,67

Sketsa antriannya dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 5.15** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 14 detik



**Gambar 5.16** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Utama kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 14 detik



3. Analisa Antrian pada Gerbang Tol Dupak 3  
Pendekatan stasiun berganda (spacing = 7,28 m/smp)

- Menggunakan WP rata-rata = 5,2 detik/smp

Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam  
 $\mu$  = 692 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1943/6}{692 - (1943/6)} = 0,88 = 1 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1943/6)^2}{692(692 - (1943/6))} = 0,41 = 1 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{692 - (1943/6)} \times 3600 = 9,77 = 10 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1943/6)}{692(692 - (1943/6))} \times 3600 = 4,57 = 5 \text{ detik}$$

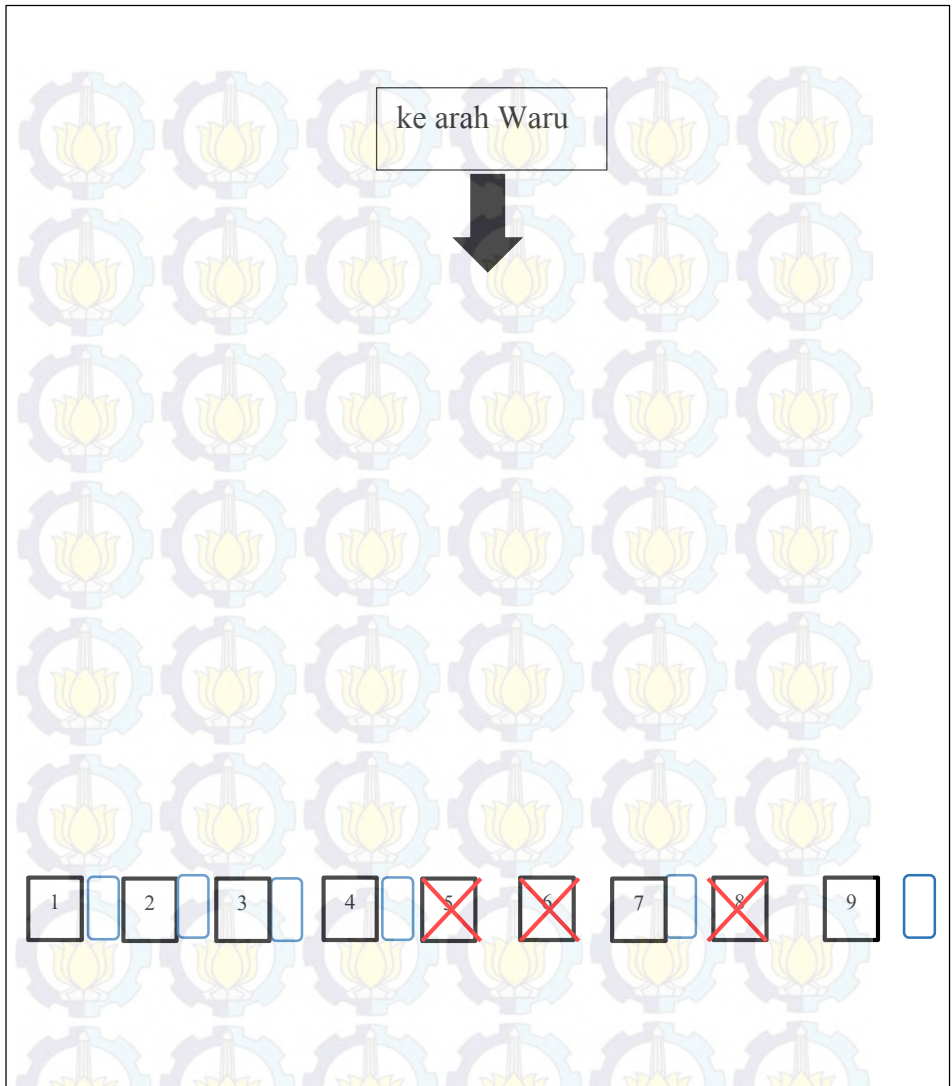
Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 5,2 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol

Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

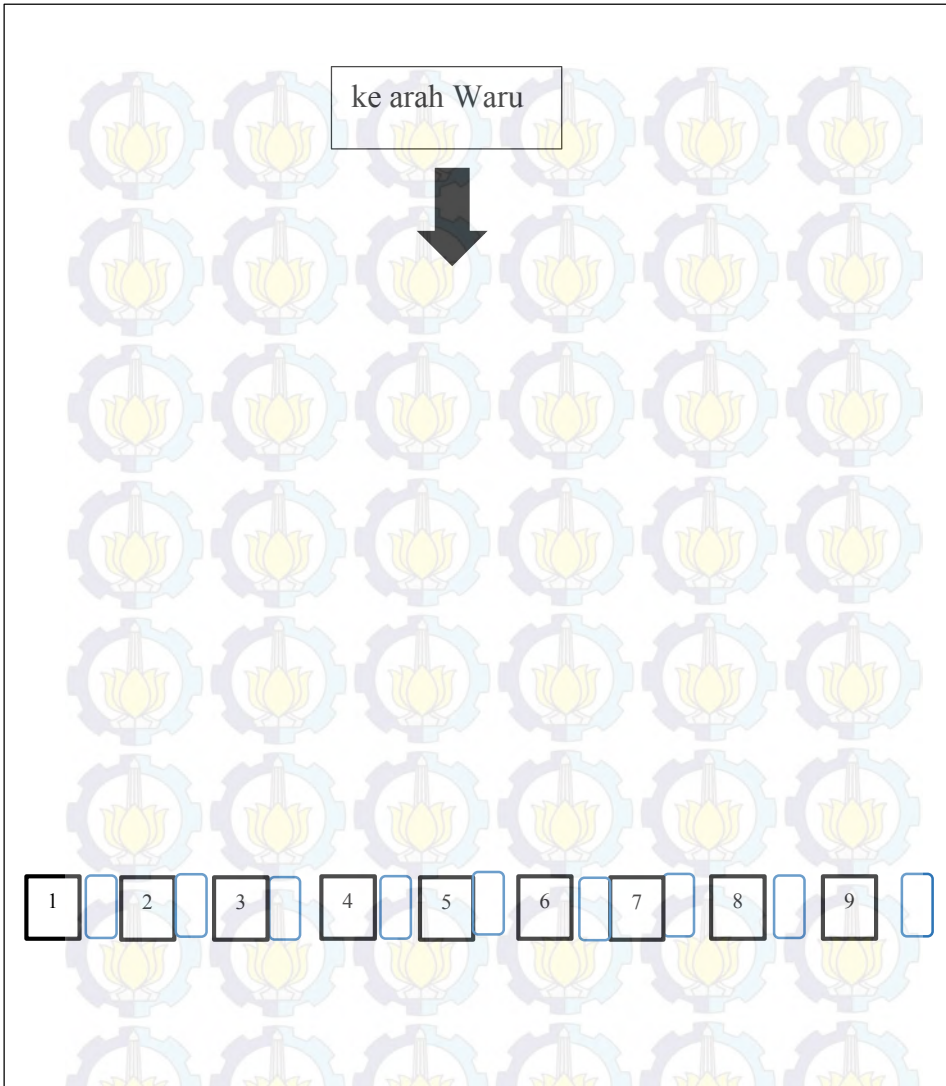
**Tabel 5.96:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 5,2 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	0,88	6,39	0,41	2,99	9,77	4,57
7	0,67	4,87	0,27	1,95	8,68	3,48
8	0,54	3,93	0,19	1,38	8,01	2,81
9	0,45	3,30	0,14	1,03	7,55	2,35

Sketsa antriannya dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 5.17** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 5,2 detik



**Gambar 5.18** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 5,2 detik



- Menggunakan WP maksimal survey = 10 detik/smp

Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam  
 $\mu$  = 360 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{1943/6}{360 - (1943/6)} = 8,91 = 9 \text{ smp}$$

$$q = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$= \frac{(1943/6)^2}{360(360 - (1943/6))} = 8,01 = 8 \text{ smp}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{360 - (1943/6)} \times 3600 = 99,13 = 100 \text{ detik}$$

$$w = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{(1943/6)}{360(360 - (1943/6))} \times 3600 = 89,13 = 90 \text{ detik}$$

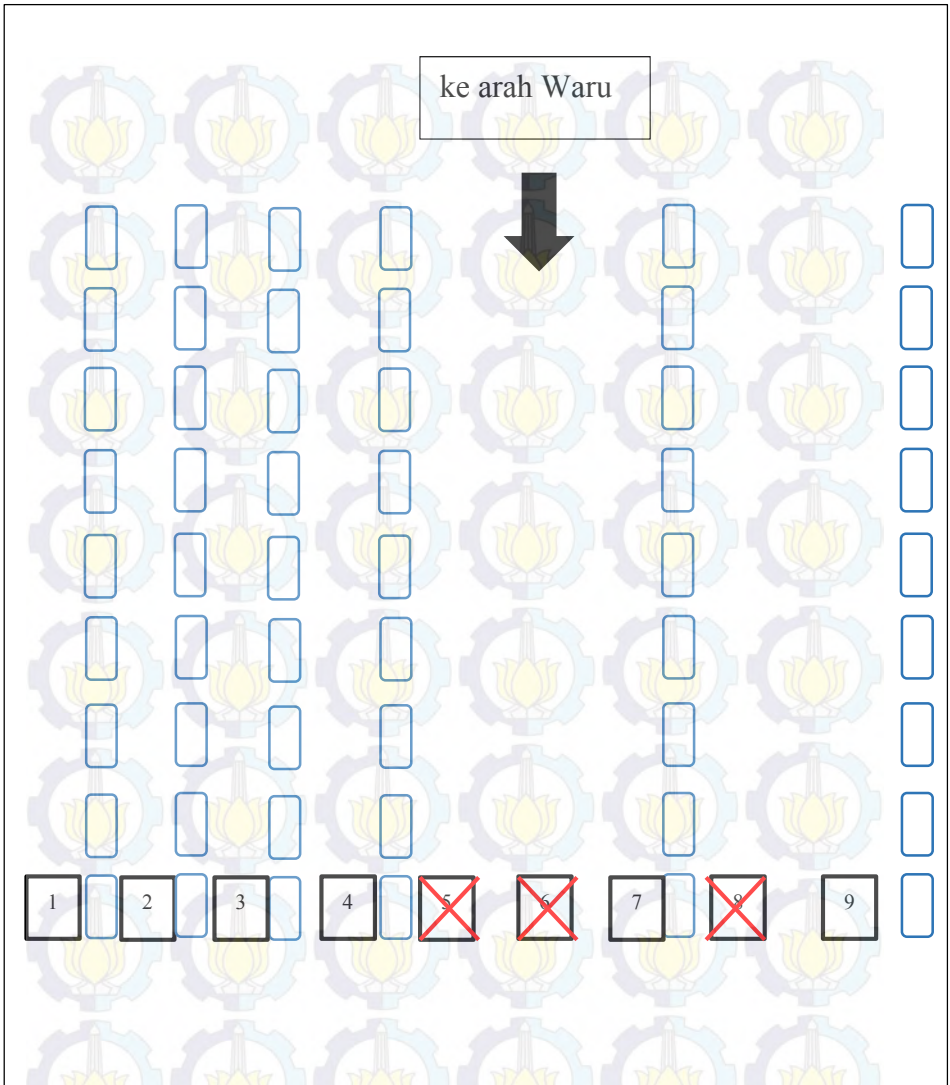
Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 10 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi

beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

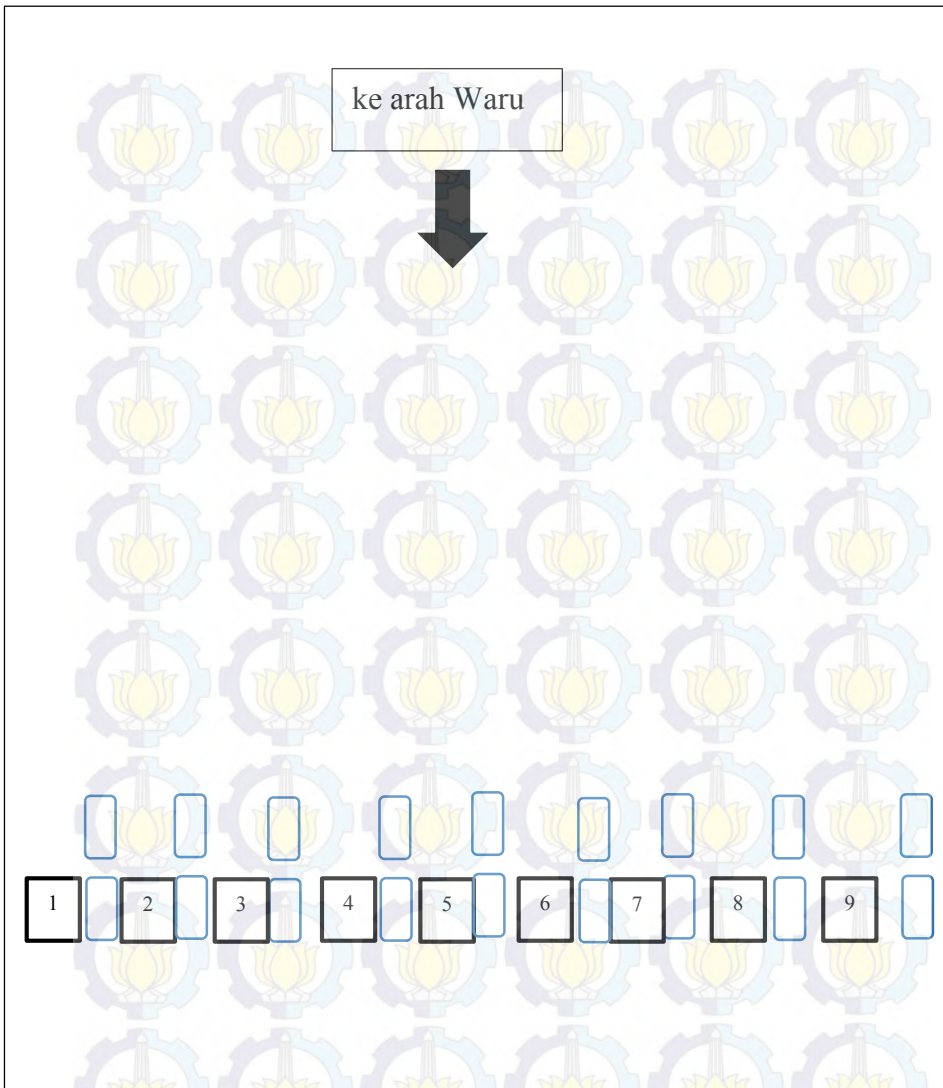
**Tabel 5.97:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 10 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	8,91	64,89	8,01	58,34	99,13	89,13
7	3,36	24,47	2,59	18,85	43,61	33,61
8	2,07	15,07	1,40	10,17	30,71	20,71
9	1,50	10,89	0,90	6,53	24,96	14,96

Sketsa antriannya dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 5.19** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 10 detik



**Gambar 5.20** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 10 detik



- Menggunakan WP = 11 detik/smp  
 Diketahui :  $\lambda$  = 1943 smp/jam  
 $\mu$  = 328 smp/jam  
 $N$  = 6 (jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)} \\
 &= \frac{1943/6}{328 - (1943/6)} = 90,18 = 91 \text{ smp} \\
 q &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)} \\
 &= \frac{(1943/6)^2}{328(328 - (1943/6))} = 89,19 = 90 \text{ smp} \\
 d &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
 &= \frac{1}{328 - (1943/6)} \times 3600 = 1002,9 = 1003 \text{ detik} \\
 w &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu} \\
 &= \frac{(1943/6)}{328(328 - (1943/6))} \times 3600 = 992 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

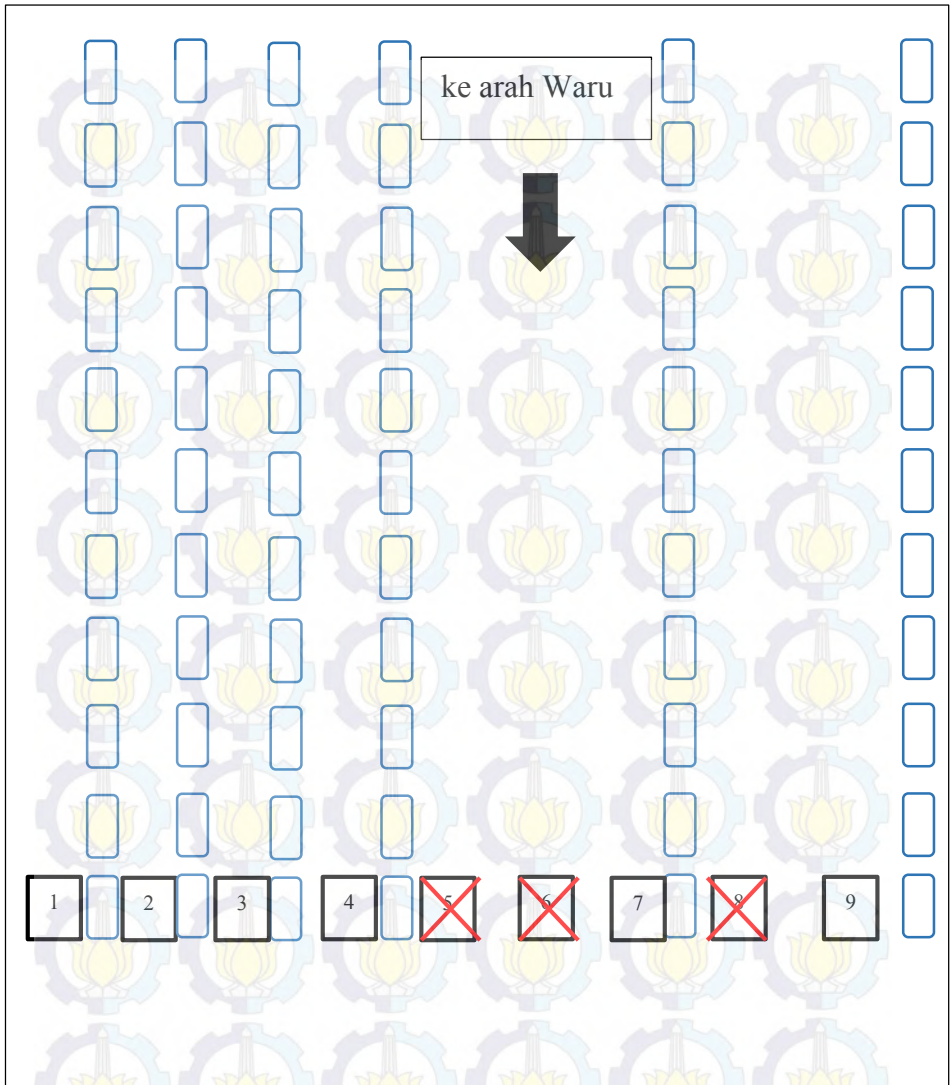
Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 11 detik di bawah ini menunjukkan panjang antrian yang terjadi di gerbang tol Dupak 3 pada kondisi gerbang tol yang beroperasi sebagian (6 gardu yang terbuka sehingga terjadi 6 lajur antrian) dan kondisi

beroperasi penuh (9 gardu tol yang terbuka sehingga terjadi 9 lajur antrian) selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

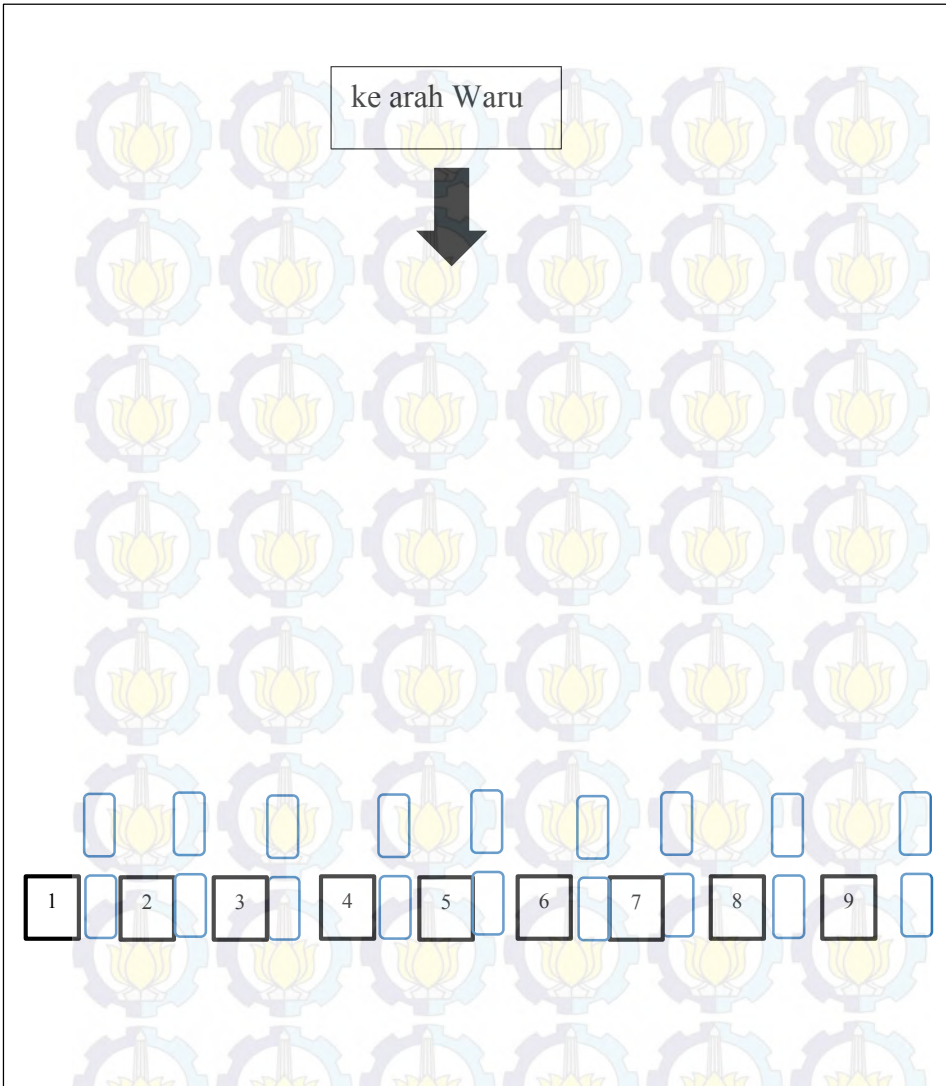
**Tabel 5.98:** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Dupak 3 Menggunakan Waktu Pelayanan (WP) 11 detik

Jumlah Pintu Tol (N)	n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
6	90,18	656,49	89,19	649,29	1002,95	991,95
7	5,57	40,53	4,72	34,36	72,25	61,25
8	2,87	20,91	2,13	15,51	42,60	31,60
9	1,94	14,09	1,28	9,29	32,29	21,29

Sketsa antriannya dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 5.21** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi sebagian menggunakan WP 11 detik



**Gambar 5.22** : Sketsa antrian gerbang tol Waru Dupak 3 kondisi beroperasi penuh menggunakan WP 11 detik



## **BAB VI PENUTUP**

### **6.1. Kesimpulan**

Tugas Akhir ini merupakan evaluasi kapasitas dan pelayanan gerbang tol Waru-Tanjung Perak. Dari hasil analisis, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Panjang antrian yang terjadi pada gerbang tol yang ditinjau adalah sebagai berikut :
  - a. Pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp, panjang antrian yang terjadi dengan kondisi 6 gardu yang terbuka dengan menggunakan skenario WP 3 detik = 2,07 m; WP 4 detik = 3,04 m; WP 5 detik = 4,24 m; WP 6 detik = 5,74 m; WP 7 detik = 7,69 m; WP 8 detik = 10,32 m; WP 9 detik = 14,05 m; WP 10 detik = 19,78 m; WP 11 detik = 29,66 m; WP 12 detik = 50,83 m; WP 13 detik = 128,30 m.
  - b. Pada gerbang tol Waru Utama, panjang antrian yang terjadi dengan kondisi 7 gardu yang terbuka dengan menggunakan skenario WP 3 detik = 2,05 m; WP 4 detik = 2,99 m; WP 5 detik = 4,14 m; WP 6 detik = 5,55 m; WP 7 detik = 7,35 m; WP 8 detik = 9,69 m; WP 9 detik = 12,9 m; WP 10 detik = 17,53 m; WP 11 detik = 24,84 m; WP 12 detik = 38,07 m; WP 13 detik = 69,26 m; WP 14 detik = 232,77 m.
  - c. Pada gerbang tol Dupak 3, panjang antrian yang terjadi dengan kondisi 6 gardu yang terbuka dengan menggunakan skenario WP 3 detik = 2,69 m; WP 4 detik = 4,09 m; WP 5 detik = 5,95 m; WP 6 detik = 8,53 m; WP 7 detik = 12,36 m; WP 8 detik = 18,65 m; WP 9 detik = 30,88 m; WP 10 detik = 64,89 m; WP 11 detik = 656,49 m.
2. Dari hasil analisis tingkat kedatangan, diketahui tingkat kedatangan pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp sebesar 261,83 kend/jam/gardu; pada gerbang tol Waru Utama

sebesar 248,86 kend/jam/gardu; pada gerbang tol Dupak 3 sebesar 323,83 kend/jam/gardu. Kapasitas sudah memenuhi Standar Pelayanan Minimum (SPM) dimana syaratnya adalah  $\leq 450$  kend/jam/gardu

3. Dengan jumlah tingkat kedatangan yang ada maka jumlah gardu yang perlu dibuka di masing-masing gerbang tol yaitu untuk Waru 1 dan Ramp = 8 gardu ; untuk Waru Utama = 8 gardu ; untuk Dupak 3 = 9 gardu
4. Dalam usaha meminimumkan nilai  $n$ ,  $q$ ,  $d$ , dan  $w$  dapat disimpulkan urutan prioritas pengambilan kebijakan, yaitu:
  - 1) Prioritas pertama adalah kebijakan meminimumkan waktu pelayanan sekecil mungkin,
  - 2) Prioritas kedua adalah kebijakan menambah pintu tol,
  - 3) Prioritas ketiga adalah kebijakan penerapan gardu sistem tandem.

## 6.2. Saran

Untuk dapat mengurangi waktu pelayanan kendaraan maka harus dilakukan perbaikan pada pelayanan gardu baik secara kuantitatif maupun kemungkinan implementasi teknologi yang dapat membantu. Hal-hal yang dapat dilakukan pengelola untuk mengurangi waktu pelayanan adalah sebagai berikut:

- a. Sosialisasi pentingnya pengemudi menyiapkan uang pas sebelum memasuki gerbang tol.
- b. Pelatihan-pelatihan untuk operator gardu tol dalam hal perbaikan pelayanan.
- c. Sosialisasi untuk meningkatkan kesadaran penggunaan e-toll card bagi masyarakat yang sering menggunakan sarana jalan tol.

## DAFTAR PUSTAKA

Direktorat Jenderal Bina Marga, Juni 1997, **Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)**, Departemen Pekerjaan Umum.

Hutahaean, Marthyn. 2007. **Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan Gerbang Tol Tanjung Morawa**. Tugas Akhir Di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 370 Tahun 2007 **Tentang Penetapan Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Ruas Jalan Tol Yang Sudah Beroperasi Dan Besarnya Tarif Tol Pada Beberapa Ruas Jalan Tol**

Morlok, Edward. K, 1988. **Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi**, Erlangga, Jakarta

Tamin, Ofyar Z, 2003. **Perencanaan dan Pemodelan Transportasi**, Institut Teknologi Bandung, Bandung

Undang-Undang No. 38 Tahun 2004 **Tentang Jalan**

PP, 2005. **Jalan Tol (PP. No. 15 Tahun 2005 Bab 2 Pasal 2)**

Wohl Mand B.V, Martin, 1967. **Traffic System Analysis For Engineers and Planners**, New York

Internet :

[http://wikipedia.org/wiki/Pelabuhan\\_Tanjung\\_Perak](http://wikipedia.org/wiki/Pelabuhan_Tanjung_Perak)

<https://sutrisnoadityo.wordpress.com/2013/10/12/teori-antrian/>






<http://bpjt.pu.go.id/konten/spm/definisi-spm>

<http://sutanto.staff.uns.ac.id/files/2009/03/bab10a.pdf>















## Lampiran 1 Data Tingkat Kedatangan (smp) Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp

GOL	1	2	3	4	5
PUKUL	I 	II 	III 	IV 	V 
15.00-15.15	182	46	37,8	44	16
15.15-15.30	196	39	35	36	18
15.30-15.45	237	38	28	30	20
15.45-16.00	253	41	32,2	34	28
16.00-16.15	258	45	36,4	38	30
16.15-16.30	268	48	33,6	34	18
16.30-16.45	281	51	35	50	22
16.45-17.00	294	44	30,8	44	20
17.00-17.15	328	46	36,4	36	22
17.15-17.30	313	54	32,2	36	14
17.30-17.45	332	43	40,6	24	22
17.45-18.00	302	42	26,6	54	30
18.00-18.15	282	37	43,4	42	14
18.15-18.30	249	34	21	34	18
18.30-18.45	213	29	33,6	30	12
18.45-19.00	184	23	32,2	30	16

# Lampiran 2 Data Tingkat Kedatangan (smp) Gerbang Tol Waru Utama

GOL	1	2	3	4	5
PUKUL					
15.00-15.15	192	42	21	34	14
15.15-15.30	229	43	18,2	40	12
15.30-15.45	243	40	21	36	18
15.45-16.00	269	44	30,8	42	16
16.00-16.15	293	42	35	48	20
16.15-16.30	347	43	37,8	70	14
16.30-16.45	355	55	40,6	42	16
16.45-17.00	359	53	33,6	30	14
17.00-17.15	368	55	30,8	40	14
17.15-17.30	382	56	33,6	48	12
17.30-17.45	371	45	32,2	44	16
17.45-18.00	343	48	30,8	44	16
18.00-18.15	321	43	28	42	18
18.15-18.30	298	44	30,8	26	14
18.30-18.45	264	43	18,2	40	18
18.45-19.00	235	41	21	24	14

### Lampiran 3 Data Tingkat Kedatangan (smp) Gerbang Tol Dupak 3

GOL	1	2	3	4	5
PUKUL					
15.00-15.15	283	32	18,2	38	28
15.15-15.30	327	37	21	30	18
15.30-15.45	358	39	16,8	46	26
15.45-16.00	364	43	14	28	20
16.00-16.15	377	41	19,6	40	24
16.15-16.30	382	38	23,8	30	16
16.30-16.45	385	47	25,2	42	26
16.45-17.00	391	48	22,4	24	24
17.00-17.15	406	47	18,2	20	30
17.15-17.30	419	45	16,8	36	20
17.30-17.45	438	49	21	32	32
17.45-18.00	423	42	23,8	28	36
18.00-18.15	387	40	19,6	40	30
18.15-18.30	354	36	21	24	18
18.30-18.45	329	38	16,8	16	26
18.45-19.00	284	33	18,2	20	22



Lampiran 4 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Gardu 1 (GTO)

Gardu 1 ( GTO)											
15.00-16.00			16.00-17.00			17.00-18.00			18.00-19.00		
5	6	4	4	5	6	6	6	5	6	7	6
5	3	4	5	4	5	4	6	5	7	6	5
4	4	5	4	4	5	3	6	6	6	6	5
5	5	5	4	5	4	5	7	5	6	8	5
6	4	5	4	5	4	5	7	4	7	5	7
3	4	6	6	5	5	6	6	6	6	5	6
3	4	5	5	3	3	6	6	4	6	4	7
4	5	5	5	4	5	4	4	6	5	4	5
3	5	5	5	4	4	4	6	6	5	6	5
4	5	5	5	4	4	5	6	6	9	6	3
5	5	5	4	5	4	6	6	6	5	3	7
4	4	4	5	5	3	5	7	5	4	4	6
5	4	4	4	5	3	5	7	5	4	5	
5	3	4	3	5	3	7	4	5	6	5	
4	4	5	3	5	3	5	5	4	4	6	
4	4	5	4	4	3	6	6	6	6	6	
4	5	5	4	4	3	5	6	7	5	6	
4	4	4	4	3	3	6	6	5	5	5	
5	5	4	5	5	4	5	5		5	7	
6	3		5	5	4	6	4		6	4	
5	4		5	4	4	5	4		6	4	
6	6		5	4	3	6	6		6	4	
3	5		5	5	6	5	6		6	3	
5	5		6	5	6	6	5		7	3	
4	4		5	5		5	10		8	6	



Lampiran 5 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Gardu 3 (GTO)

Gardu 3 ( GTO)											
15.00-16.00			16.00-17.00			17.00-18.00			18.00-19.00		
5	5	5	4	5	4	6	4	10	6	6	6
5	6	6	3	4	4	6	5	4	5	5	7
5	6	6	4	5	4	4	5	6	6	5	6
4	5	6	3	6	4	4	6	6	4	4	
4	5	7	4	6	5	4	6	6	6	6	
4	7	5	4	6	5	4	6	5	4	6	
6	4	5	3	5	5	6	7	5	4	5	
5	4	6	3	6	6	4	5	4	5	5	
5	4	3	3	6	5	5	5	6	4	5	
7	5	3	3	7	6	3	6	6	4	5	
8	6	4	3	4	6	6	6	4	8	6	
7	6	4	3	5	6	5	5	6	6	7	
6	6	6	4	3	7	4	6	6	6	4	
6	5	5	6	4	9	6	5	5	4	6	
6	5	6	5	5	6	7	6	6	6	6	
5	6	6	3	9	6	5	6	5	5	5	
5	7	6	4	5	5	5	5	7	6	5	
5	3	6	4	5		6	5	6	6	5	
5	7	6	4	5		5	6	6	6	5	
4	4		5	4		9	4	7	5	4	
4	4		6	4		4	6	3	4	6	
5	5		6	5		6	5	4	5	4	
5	5		6	6		6	5	6	10	4	
3	5		6	6		6	5	5	4	4	
5	5		5	7		7	5	6	6	5	
5	5		4	5		6	6	7	6	5	
6	5		4	5		5	6		6	7	
5	5		5	3		4	6		5	5	

Lampiran 6 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Gardu 5

Gardu 5															
15.00-16.00				16.00-17.00				17.00-18.00				18.00-19.00			
4	6	3	6	4	3	4	4	6	8	6	8	9	5	5	6
4	6	4	5	4	6	5	7	7	6	6	7	8	5	5	6
6	6	4	3	5	5	4	7	6	9	6	5	8	7	5	5
5	3	4	5	5	5	7	8	6	6	8	6	6	3	5	5
6	3	5	6	6	6	5	6	4	6	4	6	8	4	6	5
6	4	3	6	6	5	6	4	4	6	6	5	9	4	4	6
5	5	3	6	4	6	6	4	3	5	6	9	9	4	4	7
6	4	4	6	4	4	6	7	4	6	4	10	10	5	6	8
4	4	4	5	4	3	5	5	4	5	6	9	9	5	6	6
4	4	5	5	6	4	6	5	5	6	9	8	8	5	7	6
4	6	5	5	3	4	7	3	5	6	5	6	9	4	7	5
4	6	6	6	3	4	6	3	7	6	6	6	8	4	6	5
6	5	6	4	3	5	6	6	4	7	8	7	6	6	6	
3	5	6	4	4	6	5	6	5	8	9	6	6	5	7	
3	3	7	5	3	6	6	6	5	8	7	7	6	7	7	
3	3	6	4	3	4	5	5	6	6	6	6	6	4	6	
4	3	7	5	4	6	6	6	8	7	6	8	6	3	6	
6	4	5	5	3	8	5	5	7	8	6	6	5	3	6	
6	4	6	6	3	6	6	5	6	8	6	5	5	5	8	
5	4	6	6	4	4	8	4	9	8	7	6	5	6	8	
5	6	6	6	5	4	4	4	8	4	6	6	5	4	5	
6	6	6	7	6	4	5	3	5	6	7	6	5	5	4	
6	5	5	9	7	4	7	7	7	10	8	8	4	5	5	
7	4	5		8	6	5	4	4	4	8	7	4	4	4	
4	6	6		6	3	5	4	6	8	8	5	4	6	4	
4	3	5		3	5	5	5	5	6	5	5	10	6	4	
5	4	4		3	6	6	5	4	4	6		6	7	6	
5	4	5		4	7	6	5	6	4	8		6	5	6	



Lampiran 7 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Gardu 7

Gardu 7															
15.00-16.00				16.00-17.00				17.00-18.00				18.00-19.00			
6	7	5	7	5	6	7	5	6	5	6	5	6	6	5	8
6	5	4	6	3	4	3	6	7	4	6	8	7	5	8	7
7	4	6	6	4	5	4	5	8	4	8	7	7	6	7	7
6	4	5	4	4	4	7	7	4	5	9	6	8	6	5	8
6	6	5	4	6	6	3	8	5	5	10	5	10	7	6	6
7	6	6	5	7	7	3	7	6	4	8	6	9	8	7	5
5	5	6	5	5	8	6	5	7	4	9	5	7	7	9	5
6	5	4	6	5	9	7	5	8	3	10	5	8	6	6	6
4	6	7	4	6	8	7	5	6	3	9	5	8	5	7	7
6	6	6	6	4	7	6	4	7	6	5	4	7	5	4	5
6	6	8	3	7	8	6	4	6	6	6	6	6	6	3	6
7	7	9	6	8	9	5	3	8	5	6	6	7	5	5	6
6	7	5	5	6	7	5	6	7	6	6	6	6	7	6	8
7	7	10	4	6	6	6	6	7	8	5	5	8	4	6	7
7	6	5	6	4	5	7	5	6	9	6	7	7	3	3	7
8	5	6	6	6	6	4	6	6	5	7	4	6	4	4	6
6	5	7	5	6	4	5	6	5	6	5	4	5	6	7	5
5	6	5	7	6	5	7	4	5	5	6	5	7	6	6	7
8	6	6	8	6	3	6	4	4	10	6	6	8	4	8	9
8	7	6	7	5	7	3	3	6	7	4	5	7	7	6	
6	7	5	4	4	6	5	5	8	5	6	6	6	6	6	
6	5	4	6	7	7	5	4	5	6	5	6	8	5	7	
6	6	6	3	3	5	7	7	5	6	6	7	6	6	7	
7	5	6	4	3	6	7	6	7	5	7	5	7	7	4	
7	4	6	4	4	5	6	6	7	8	6	6	6	8	4	
6	6	6	5	5	6	7	6	6	5	5	6	8	7	5	
6	6	5	5	4	4	7	5	9	6	4	7	6	8	3	
7	5	5	8	6	6	8	4	4	6	5		6	6	6	

Lampiran 8 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Gardu 11

Gardu 11															
15.00-16.00				16.00-17.00				17.00-18.00				18.00-19.00			
6	5	5	7	4	4	5	6	7	4	7	7	6	6	6	6
6	5	6	8	5	6	6	5	4	3	7	6	6	7	6	6
6	6	7	6	5	5	4	6	7	5	5	6	5	6	6	7
6	6	9	7	6	6	6	5	6	7	6	7	8	6	7	8
7	7	8	5	6	6	7	6	7	6	5	4	6	5	5	7
7	6	7	4	4	6	3	6	6	5	7	7	7	4	6	7
6	7	10	7	8	5	4	7	8	6	6	6	9	5	9	6
5	8	6	7	7	6	6	6	8	6	6	5	6	5	8	6
4	6	9	8	6	5	5	6	3	4	8	4	7	7	8	7
4	6	7	10	6	7	6	7	6	5	4	6	8	4	6	8
7	7	7	8	4	4	6	7	6	10	4	7	5	8	6	6
7	6	6	10	5	7	6	6	5	6	9	6	4	6	6	7
6	7	6	7	4	6	7	6	6	5	5	8	6	7	7	6
8	6	9	6	4	6	7	5	6	6	7	4	6	7	6	6
9	5	9	6	5	5	5	4	7	5	5	5	7	7	6	5
7	5	7	8	5	7	6	4	6	5	5	6	5	5	7	6
3	3	7	7	6	6	6	6	6	6	10	9	6	5	6	7
4	4	7	8	6	6	6	6	4	4	7	6	6	6	6	6
6	6	6	9	5	7	8	7	6	5	7	5	8	6	6	9
7	7	6	7	3	6	6	7	6	6	6	5	5	6	6	5
6	5	5	6	4	5	6	4	8	6	6	4	5	3	6	8
7	8	4	8	7	6	6	6	5	6	5	4	6	5	5	
6	10	6	8	6	5	5	3	6	3	4	6	9	6	3	
6	5	6	10	5	4	6	7	6	5	3	7	6	6	8	
8	6	7		6	5	6	6	4	8	6	6	6	7	10	
8	7	8		6	4	4	6	5	5	7	5	5	9	6	
7	6	7		5	4	5	5	6	6	9		4	6	7	
7	6	7		6	5	7		6	4	6		3	4	6	
6	6	9		5	5	6		5	5	6		5	5	8	



Lampiran 9 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru 1 dan Ramp Gardu 9

Gardu 9															
15.00-16.00				16.00-17.00				17.00-18.00				18.00-19.00			
4	10	5	7	5	8	8	5	7	5	6	6	7	6	6	5
6	7	5	6	6	6	6	4	6	6	4	6	7	6	6	7
5	6	6	4	7	5	7	3	6	6	6	6	6	7	6	6
5	6	6	6	6	4	5	6	6	4	7	5	5	5	4	6
6	6	6	6	6	6	5	6	6	5	7	4	6	7	7	4
8	5	6	5	7	8	6	5	6	6	6	6	6	6	7	9
7	7	7	5	6	3	6	7	5	7	8	9	6	4	5	6
6	9	8	6	6	4	6	6	8	7	9	6	7	4	4	5
6	7	5	3	6	7	8	4	9	6	3	5	4	6	6	6
5	6	6	9	7	7	9	6	5	6	4	5	3	6	4	6
6	6	6	8	7	6	10	6	6	7	4	6	4	7	4	7
6	7	7	7	6	6	7	6	6	6	6	5	7	5	6	5
6	5	6	6	9	8	5	5	4	4	6	7	5	3	3	5
9	6	9	6	5	6	5	3	3	4	6	7	5	8	7	5
3	7	10	6	6	7	8	7	4	7	6	4	6	7	7	6
6	7	6	5	6	5	9	4	4	5	5	6	7	6	9	5
7	7	6	7	6	6	7	4	5	3	6	4	4	7	6	4
7	8	6	6	4	6	8	4	7	8	6	6	4	4	6	4
8	6	7	8	3	4	6	6	4	6	5	7	5	3	5	7
8	7	5	6	6	4	6	6	3	5	5	6	5	4	4	6
8	7	4	6	6	7	6	9	4	5	5	7	7	4	6	6
7	6	8	7	7	5	6	5	6	4	5	6	7	5	6	8
7	6	7	5	6	4	7	10	5	10	7	6	9	4	6	6
9	6	7	3	8	9	5	6	6	5	3	6	3	6	5	
6	4	6		10	7	7	6	6	4	6	5	4	5	3	
4	5	5		6	6	8	5	8	6	5		4	7	5	
5	6	6		7	4	8	6	7	6	6		6	6	5	
7	6	6		5	5	6		7	6	7		5	6	8	
7	6	8		6	6	7		9	6	7		6	5	5	

Lampiran 10 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru Utama Gardu 2

Gardu 2																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
4	6	7	6	10	7	8	6	8	4	6	6	6	6	8	7	7	8	6	8	6	8	7	6
4	7	8	7	7	6	6	7	6	6	6	7	4	4	6	6	8	8	6	7	7	8	8	6
7	4	5	5	6	6	8	6	8	6	5	6	6	6	4	6	9	7	6	6	6	6	9	6
6	9	5	8	6	8	8	5	6	7	6	6	6	6	6	6	10	9	8	7	8	7	6	9
5	7	6	6	6	10	8	5	5	8	6	6	6	4	5	6	8	6	6	6	6	9	8	7
6	4	6	4	4	8	8	5	4	7	6	7	5	6	7	5	7	9	6	6	7	10	6	5
6	6	4	6	5	8	8	4	7	7	6	6	5	6	6	4	6	7	8	5	9	6	6	6
9	6	6	6	9	8	7	4	6	6	7	6	7	4	6	5	4	6	6	6	6	7	9	7
8	6	6	4	7	8	6	4	6	6	9	4	8	5	5	6	4	6	4	7	6	8	8	6
6	6	6	4	4	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	5	6	4	6	8	9	4	10	8
6	6	4	10	6	7	8	3	8	7	6	4	6	6	4	8	6	6	6	6	6	4	8	6
5	5	5	6	6	8	9	6	6	6	4	4	4	6	6	6	6	6	9	3	8	6	9	6
6	6	7	7	6	10	8	6	6	8	4	6	6	8	7	5	7	7	6	6	7	9	6	5
6	6	6	6	7	6	9	7	6	6	5	5	8	6	6	6	8	6	5	6	6	7	6	5
5	7	8	5	5	6	8	8	7	6	7	5	6	6	6	5	7	8	5	7	6	6	6	4
6	7	6	6	5	6	6	6	6	7	6	8	8	6	6	6	6	8	6	6	7	6	5	6
6	5	6	6	6	7	6	6	7	6	6	6	6	4	6	5	6	6	6	5	9	7	8	3
7	6	6	4	4	5	6	4	5	7	5	8	6	6	6	6	8	6	6	5	6	7	6	4
6	7	5	8	6	6	6	6	5	6	5	6	6	6	6	6	7	8	6	6	6	10	8	4
6	5	6	4	6	6	6	8	5	6	5	5	6	7	6	6	6	8	8	7	5	6	6	4
6	7	6	6	8	8	5	6	4	6	6	6	6	8	5	4	8	6	6	8	6	7	6	5
6	4	8	6	5	7	5	7	4	5	7	6	5	6	5	6	6	7	6	6	6	6	6	5
5	6	8	4	6	4	6	8	6	5	6	6	6	6	6	6	6	4	8	10	8	6	7	6
7	6	4	6	6	5	7	6	9	10	6	6	7	6	6	7	7	4	8	6	6	7	5	7
4	6	6	7	5		8	7	8	5	7	8	6	5	6	7	6	4	7	4	6	6	6	6
8	6	6	5	6		6	4	6	5	6	9	7	6	7	10	6	5	8	9	9	9	6	
7	5	6	4	4		6	6	7	5	5	4	4	4	8	8	7	8	6	6	6	9	8	
6	9	6	8	6		7	6	8	4	6	6	6	7	6	9	9	9	7	9	8	4	6	
7	6	8	9	6		6	6	9	6	6	6	6	6	6	6	7	4	6	8	5	7	8	
6	6	8	5	7		4	8	7	4	6	5	7	6	7	6	6	5	6	5	6	7	6	



Lampiran 11 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru Utama Gardu 4

Gardu 4																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
7	6	9	8	6	6	9	4	4	6	5	4	6	7	6	6	7	6	6	8	5	4	6	6
5	4	9	7	6	6	8	6	6	7	5	8	4	6	5	6	10	7	6	8	4	5	5	6
4	7	8	4	4	6	4	7	6	4	6	6	6	7	6	10	6	8	4	7	4	6	7	5
4	4	4	6	4	7	8	6	8	6	6	9	6	6	6	6	7	5	6	8	4	6	8	4
6	10	7	6	4	4	9	4	6	6	4	6	5	8	8	7	6	6	8	8	4	8	5	8
7	6	7	6	6	4	8	6	6	7	6	6	6	6	8	8	8	6	8	4	6	6	5	6
5	4	6	7	7	6	4	8	7	6	6	6	6	6	6	4	8	6	6	8	7	5	5	5
6	5	6	9	5	7	6	6	8	8	7	6	4	5	6	6	6	8	7	6	8	6	4	7
4	5	8	4	6	8	7	7	8	8	6	8	6	6	5	7	8	9	6	7	6	6	4	8
9	6	8	4	4	8	8	6	6	6	6	7	6	6	7	6	9	6	8	7	7	5	7	6
4	4	4	6	4	6	8	8	8	6	7	8	8	6	6	6	9	7	6	8	6	9	5	5
5	4	8	7	6	6	8	8	6	7	6	6	6	5	4	4	8	8	6	9	7	6	7	4
7	10	8	4	5	4	9	7	8	5	7	7	6	6	8	4	6	6	6	6	4	6	5	5
4	8	8	6	4	4	9	6	6	6	5	6	6	5	6	5	8	4	6	6	6	6	6	7
7	4	7	7	7	5	6	4	6	6	6	5	4	5	5	6	9	6	8	5	6	7	5	8
4	10	4	9	6	4	6	6	6	5	7	6	6	6	4	6	6	6	6	5	6	6	5	7
5	5	9	5	8	9	7	7	7	6	7	6	6	6	6	5	9	6	6	4	7	7	5	5
4	9	8	5	8	10	7	6	7	6	6	5	4	6	6	6	10	7	6	4	9	7	5	6
8	6	8	4	6	4	6	6	6	7	6	5	6	5	5	10	6	10	7	6	6	5	10	6
5	9	7	6	6	6	7	4	7	6	4	8	5	6	6	6	7	6	6	6	7	6	4	8
7	8	6	4	6	5	6	6	8	8	5	6	6	6	6	9	6	7	7	5	7	8	5	6
6	9	10	4	7	6	6	7	8	9	8	6	7	6	5	6	8	8	10	6	9	5	5	6
7	8	5	4	4	6	7	9	6	6	6	6	6	6	6	6	9	6	7	6	8	5	6	4
4	4	5	6	5	6	8	8	7	6	5	6	5	8	5	5	6	4	8	6	6	5	8	5
6	6	6	6	4	7	6	7	6	8	7	7	6	4	5	6	6	4	9	6	7	6	8	4
4	8	6	5	4	7	6	7	6	7	5	7	7	6	5	6	6	4	6	5	9	5	10	
4	4	5	7	6	4	7	9	7	4	6	8	5	5	6	7	9	6	6	6	7	6		
5	8	4	4	4	8	4	8	7	6	6	6	6	6	6	8	6	5	6	6	7	8	6	
6	8	4	8	8	7	7	8	6	6	6	6	4	5	6	9	5	9	6	5	6	6	8	
4	8	5	7	9	6	8	6	6	6	5	7	6	6	6	6	7	6	6	5	5	6	6	

Lampiran 12 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru Utama Gardu 6

Gardu 6																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
5	4	6	8	6	4	8	7	4	6	6	7	6	6	5	4	6	8	8	6	6	6	8	8
5	4	4	4	4	6	8	6	6	7	6	6	4	6	5	8	9	6	10	6	6	7	6	5
6	8	4	4	4	4	9	8	8	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	7	4	9	10	5
9	5	6	4	4	6	4	6	6	7	8	6	4	4	5	8	4	7	3	8	8	8	8	8
8	4	5	6	5	8	5	6	7	6	6	8	6	6	6	8	9	8	3	8	6	6	9	6
6	6	7	8	7	8	8	8	6	6	8	6	8	6	7	6	8	6	3	10	9	7	7	7
8	6	8	7	7	6	8	6	7	6	6	4	6	6	8	5	9	6	6	6	9	8	6	4
7	4	5	5	6	7	9	6	6	7	8	8	6	7	6	6	9	8	8	3	7	6	6	4
5	6	6	6	6	4	8	7	6	6	6	6	5	6	6	8	6	6	6	6	6	10	9	5
6	6	4	6	4	4	9	9	4	7	5	5	6	5	7	7	8	6	6	6	8	3	8	3
8	5	4	4	4	4	8	7	5	8	6	5	6	4	8	8	6	6	8	5	3	3	8	9
4	7	4	6	6	4	6	6	6	6	4	6	6	5	8	8	6	6	4	6	9	4	6	8
5	4	7	4	6	8	7	6	6	4	4	8	6	7	6	8	7	7	6	9	9	7	6	7
6	4	4	6	4	8	8	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	8	8	5	6	3	6
8	4	6	6	6	4	9	7	4	8	6	7	6	6	4	7	7	7	6	4	10	6	3	7
4	7	6	8	4	6	6	6	6	6	4	7	6	7	8	6	6	6	6	6	5	8	5	7
7	6	5	4	6	6	4	5	6	6	6	6	4	8	6	6	6	8	7	7	6	8	7	5
6	6	7	8	8	6	6	6	6	6	4	6	5	6	6	6	7	6	6	6	8	6	8	4
4	4	9	6	10	8	8	8	6	7	8	6	6	5	6	8	7	8	7	5	6	6	6	5
6	4	6	6	8	5	8	6	7	6	6	7	6	6	4	10	8	6	8	9	4	7	6	5
4	8	4	4	8	8	7	6	4	7	6	6	5	7	6	4	6	6	6	6	9	8	8	
6	4	4	4	8	9	8	6	6	7	6	8	8	8	6	6	7	6	8	9	7	6	7	
6	7	6	4	8	4	7	6	7	6	6	6	8	6	6	7	6	8	10	6	8	6	8	
7	5	6	6	6	8	9	8	6	4	8	8	6	6	6	8	6	6	8	9	7	8	8	
7	8	4	7	7		5	6	8	8	4	7	4	5	6	6	9	6	8	6	6	7	4	
4	4	5	6	8		6	6	8	4	6	6	8	6	7	7	6	7	3	8	8	7	4	
5	6	5	6	10		9	4	6	8	4	6	6	8	6	6	7	8	8	5	6	5	3	
5	6	7	4	6		9	6	7	6	8	7	5	6	6	7	8	6	8	6	6	6	6	
9	4	6	5	6		6	4	8	6	6	6	6	6	6	7	10	8	6	8	6	6	6	
5	5	6	7	4		6	6	8	5	6	6	5	7	7	8	9	6	7	5	7	8	7	



Lampiran 13 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru Utama Gardu 8

Gardu 8																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
5	6	6	6	7	5	8	8	7	6	5	8	4	8	6	6	5	7	5	5	6	8	6	8
5	7	7	6	7	4	10	7	4	8	5	8	6	4	3	7	5	4	8	6	6	4	8	8
4	6	5	5	7	6	5	5	5	5	7	9	6	5	8	6	10	9	9	6	4	4	6	7
6	6	8	5	6	5	4	3	6	9	8	7	3	7	6	5	7	6	10	4	7	6	4	6
10	5	7	5	9	4	3	4	3	8	8	6	5	5	6	4	8	7	6	5	5	5	5	7
7	6	6	4	4	7	4	3	5	10	6	6	10	7	5	4	8	5	8	5	6	5	5	5
8	6	6	6	8	6	7	4	10	9	8	7	9	9	9	4	7	5	7	8	4	7	7	3
4	6	7	5	6	5	4	4	4	4	8	7	5	7	6	5	7	8	8	9	3	7	8	6
6	8	5	7	5	5	5	7	4	7	7	5	8	4	10	8	7	6	7	7	7	7	3	6
3	4	5	7	7	7	4	4	5	4	3	6	7	9	8	5	5	6	6	8	9	6	9	6
4	4	4	9	7	4	4	6	9	5	10	8	7	8	8	7	6	6	8	8	9	8	8	7
10	7	6	6	6	8	10	6	8	6	8	8	5	4	7	7	4	8	7	5	9	8	8	9
5	9	7	8	6	7	5	5	8	9	7	4	7	5	8	7	4	10	4	9	4	4	7	7
7	6	6	8	6	9	4	6	7	4	7	7	7	9	4	6	3	6	9	9	10	5	5	7
9	8	7	6	6	6	9	5	4	4	7	8	9	8	6	3	5	7	5	8	8	3	6	6
8	7	6	7	5	6	4	8	5	6	6	9	4	6	5	9	5	6	4	10	7	6	4	8
4	6	5	7	5	6	7	7	8	6	5	6	7	10	9	7	5	5	9	7	9	9	3	5
6	6	5	4	8	5	4	7	6	7	6	6	7	8	8	6	7	5	5	5	7	7	4	7
4	4	8	5	7	7	4	6	5	6	6	7	6	6	5	6	9	8	8	3	7	7	4	
4	5	9	3	4	7	4	6	8	9	6	5	6	7	6	6	4	4	3	5	6	10	6	
5	5	7	6	6	5	6	4	7	6	9	5	7	4	3	6	6	5	9	4	6	5	5	
5	6	6	9	6	6	6	10	8	4	8	6	6	4	4	8	6	7	7	4	5	6	5	
5	7	6	8	7	5	8	8	7	5	5	5	5	5	7	7	5	6	6	6	4	4	5	
6	7	8	8	5	7	7	6	5	4	6	6	6	6	6	8	7	6	8	5	4	4	7	
6	8	4	7	5	4	5	9	4	7	5	6	4	5	7	5	7	5	4	6	6	4	9	
4	5	5	8	4	7	4	8	4	8	6	8	6	8	8	4	8	9	9	7	8	5	10	
6	7	5	5	4	6	5	6	6	6	7	7	7	6	4	4	6	7	8	9	8	7	5	
8	6	5	6	7	5	6	6	8	7	8	5	8	5	8	6	6	8	6	4	9	5	6	
4	9	7	5	5	8	6	7	4	6	6	6	6	4	8	7	6	6	4	8	7	6	5	
6	10	8	5	4	6	4	4	5	5	5	5	5	7	5	5	5	6	7	4	8	6	4	

Lampiran 14 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru Utama Gardu 10

Gardu 10																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
4	7	6	6	7	4	5	5	8	6	6	8	7	5	5	5	7	6	5	6	7	8	8	7
6	6	4	5	6	6	6	4	4	7	6	6	8	6	8	3	6	6	7	6	6	7	6	6
5	6	6	5	4	6	7	6	6	5	5	5	6	4	5	5	6	6	7	7	6	5	5	6
5	6	8	6	6	5	6	8	6	5	7	8	9	5	5	5	5	7	8	8	4	6	5	6
6	5	6	6	6	9	6	3	8	4	6	6	6	6	4	6	4	9	10	7	6	7	6	5
8	7	7	6	5	8	7	4	6	6	4	8	4	6	6	5	7	4	9	6	7	9	7	5
7	9	6	6	5	6	6	4	6	6	6	8	9	5	8	7	6	4	7	5	9	6	5	5
6	7	7	7	6	10	6	7	7	8	6	6	8	4	6	6	5	6	8	5	8	7	6	5
6	6	6	8	3	8	6	6	8	9	6	5	4	3	7	6	4	7	8	6	7	4	6	10
5	6	6	5	9	6	4	6	8	10	5	6	4	5	7	8	6	4	7	5	6	3	8	4
6	7	4	6	8	7	7	8	6	7	3	8	7	5	6	4	7	6	6	7	7	5	7	5
6	5	5	6	7	4	4	6	8	5	4	7	6	6	6	4	6	7	7	4	4	5	7	5
6	6	6	7	6	4	9	7	6	5	4	8	7	5	6	9	8	9	6	3	7	6	6	6
9	7	6	6	6	5	5	5	8	8	4	8	6	6	7	5	4	5	8	4	6	3	5	5
3	7	6	9	6	6	6	6	6	9	4	8	8	6	6	3	5	6	7	5	6	4	7	6
6	7	4	10	5	6	6	6	6	7	4	6	8	4	8	5	6	5	6	5	5	7	9	7
7	8	6	6	7	8	6	4	5	8	6	7	3	5	6	5	9	4	5	4	5	6	8	8
7	6	8	6	6	9	4	4	6	4	9	6	5	10	8	10	6	8	7	7	5	8	10	8
8	7	4	6	8	6	3	7	8	4	5	6	6	6	7	7	5	8	8	6	5	6	6	6
8	7	6	7	6	7	6	5	8	6	10	6	5	5	6	7	5	7	7	5	10	6	6	6
8	6	6	5	6	8	6	4	10	6	6	8	6	6	6	6	4	6	6	6	4	7	5	5
7	6	4	4	7	6	7	9	6	7	6	10	6	5	7	6	4	7	8	7	5	7	8	5
7	6	5	8	5	4	6	7	6	5	5	4	7	5	6	5	6	5	6	8	5	4	6	
9	4	6	7	3		8	6	8	7	6	6	6	6	6	4	7	3	7	7	6	4	8	
6	5	4	7	5		10	4	6	8	6	7	5	4	10	3	6	6	6	8	8	5	9	
4	6	4	6	6		6	5	6	8	7	8	4	5	5	6	5	6	8	6	8	3	6	
5	6	6	5	4		7	8	6	6	6	6	6	6	6	7	9	6	6	5	10	6	6	
7	4	5	6	4		5	7	5	5	6	7	6	6	8	9	8	7	5	6	6	8	4	
7	6	7	6	4		8	4	4	4	5	6	8	6	6	6	7		5	4	6	7	4	
10	4	8	8	7		6	7	8	3	7	7	5	3	4	6	4		5	6	6	7	5	



Lampiran 15 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru Utama Gardu 12

Gardu 12																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
6	9	10	8	5	5	5	4	5	6	6	5	7	5	7	6	5	6	7	7	5	5	6	6
7	6	4	6	6	7	7	5	6	8	5	3	6	6	8	6	6	4	6	6	7	6	6	6
6	6	5	6	6	9	8	5	5	9	6	5	6	8	8	6	6	9	5	6	6	6	7	5
6	6	5	8	5	10	4	4	6	10	5	6	7	7	8	8	5	6	8	5	9	6	8	3
4	5	6	4	9	5	5	4	7	8	5	4	6	6	4	4	9	9	6	4	10	7	7	4
4	6	8	6	10	6	6	3	8	9	5	4	6	9	6	6	10	8	7	5	6	5	7	4
3	5	8	6	9	4	7	3	8	10	4	4	6	8	10	6	9	5	9	5	7	6	6	4
4	5	10	4	8	4	8	6	6	9	6	7	4	5	4	4	8	6	6	7	5	9	6	10
4	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	4	7	7	8	6	6	7	7	4	8	8	4	8
5	6	5	9	6	5	7	5	5	6	6	6	4	4	6	9	6	6	8	8	7	8	8	7
5	7	6	5	7	5	6	6	5	6	5	6	9	6	4	5	7	8	5	6	6	6	6	9
7	8	4	6	6	5	8	8	7	6	7	5	5	5	4	6	6	6	4	7	6	6	5	7
4	8	5	8	7	7	7	9	7	5	4	6	6	4	4	8	7	7	6	7	7	6	6	7
5	6	6	9	6	9	7	5	6	6	4	6	6	6	9	9	6	9	6	7	5	5	6	6
5	7	6	7	8	10	6	6	6	7	5	5	6	8	8	7	8	6	7	5	5	6	5	6
6	8	6	6	6	5	6	5	5	5	6	7	4	6	8	6	6	6	5	5	4	6	6	5
8	8	3	6	5	6	5	10	4	6	5	7	6	9	7	6	5	9	6	6	4	7	7	4
7	8	5	6	6	6	5	7	4	6	6	8	7	6	6	6	6	6	6	6	8	6	6	8
6	4	8	6	6	5	4	5	6	4	6	6	6	6	10	6	6	8	8	6	8	6	9	8
9	6	5	7	6	9	6	6	8	6	7	6	6	6	5	7	6	7	5	3	4	6	5	4
8	10	5	6	8	6	8	6	8	5	5	6	4	5	5	6	8	6	5	5	6	6	8	7
5	4	4	7	7	10	5	5	9	6	6	5	4	6	6	7	7	5	6	6	6	6	7	8
7	8	6	8	5	5	8	7	7	6	7	7	3	5	6	8	5	9	9	6	6	5	8	9
4	6	8	8	5	7	5	7	6	7	4	4	4	5	5	8	5	7	6	7	8	3	6	6
6	4	6	8	5	7	6	4	5	7	9	4	4	6	4	8	5	8	6	9	5	8	6	6
5	4	7	5	4	6	6	5	4	10	6	5	5	6	4	5	6	6	5	6	5	10	7	
4	5	7	6	4	9	6	8	5	8	5	5	7	5	6	5	6	4	4	5	6	7		
6	5	5	8	6	4	10	6	5	6	6	7	8	10	8	8	8	3	7	6	7	6		
8	5	10	8	5	5	4	5	8	6	4	8	4	8	6	6	6	5	7	6	6	4		
6	5	4	7	5	4	5	8	7	7	5	6	5	7	10	4	6	8	6	8	6	6		

Lampiran 16 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Waru Utama Gardu 14

Gardu 14																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
5	5	7	4	6	5	8	7	4	6	6	7	6	6	5	4	6	8	8	6	6	6	8	8
5	8	8	6	4	8	8	6	6	7	6	6	4	6	5	8	5	6	10	6	6	7	6	5
6	9	4	6	4	6	9	8	8	6	5	6	6	6	6	6	4	6	6	7	4	7	10	5
9	7	7	3	4	8	6	6	6	7	8	6	4	4	5	8	3	7	3	8	8	9	8	8
8	8	9	5	5	9	7	6	7	6	6	8	6	6	6	8	5	8	3	8	6	6	8	6
6	4	10	8	7	8	5	8	6	6	8	6	8	6	7	6	5	6	3	10	9	7	7	7
8	4	5	7	7	5	5	6	7	6	6	4	6	6	8	5	6	6	6	6	9	4	6	4
7	6	6	5	6	6	4	6	6	7	8	8	6	7	6	6	5	8	8	3	7	3	5	4
8	6	5	6	6	5	6	7	6	6	6	6	5	6	6	8	6	6	6	6	6	5	6	5
4	7	4	6	4	6	6	9	4	7	5	5	6	5	7	7	8	6	6	6	8	5	5	3
5	5	8	4	4	6	8	7	5	8	6	5	6	4	8	8	6	6	8	5	3	3	5	9
6	7	8	7	6	7	9	6	6	6	4	6	6	5	8	8	6	6	4	6	9	4	5	8
7	4	7	6	6	5	7	6	6	4	4	8	6	7	6	8	7	7	6	9	9	7	4	7
8	4	6	8	4	6	8	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	8	8	5	6	6	6
6	4	6	8	6	6	9	7	4	8	6	7	6	6	4	7	7	7	6	4	10	6	3	7
7	7	6	3	4	7	6	6	6	6	4	7	6	7	8	6	8	6	6	6	5	8	5	7
6	6	5	5	6	7	4	5	6	6	6	6	4	8	6	6	10	8	7	7	6	3	7	5
8	6	7	6	8	10	6	6	6	6	4	6	5	6	6	6	6	6	6	6	10	5	8	4
7	4	7	5	10	8	8	8	6	7	8	7	6	5	6	8	7	8	7	5	4	5	6	5
7	4	9	6	8	5	8	6	7	6	4	6	6	6	4	10	6	8	8	9	8	10	6	5
4	8	7	4	8	8	7	6	4	6	4	8	5	7	6	5	8	4	6	6	6	7	8	
6	6	7	4	8	9	8	6	6	8	4	7	8	8	6	5	6	7	8	9	4	7	7	
6	8	6	4	7	4	7	6	7	4	7	6	8	6	6	6	6	8	10	6	4	6	8	
7	9	6	6	6	8	9	8	6	9	4	6	6	6	6	9	7	9	8	9	4	8	8	
6	10	5	7	9		5	6	8	8	6	7	4	5	6	6	8	6	8	6	9	7	4	
8	7	4	6	9		6	6	8	6	6	6	8	6	7	6	7	6	3	8	8	7	4	
9	5	5	6	8		9	4	6	4	5	7	6	8	6	5	7	7	8	5	6	5	3	
10	5	7	4	10		9	6	7	7	8	6	5	6	6	4	8	5	8	6	6	6	6	
7	8	6	5	6		6	4	8	5	6	6	6	6	6	7	10	5	6	8	6	6	6	
5	9	6	7	6		6	6	8	6	6	6	5	7	7	8	9	6	7	5	7	8	7	



Lampiran 17 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Dupak 3 Gardu 1

Gardu 1																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
9	5	10	8	5	5	3	5	5	6	10	5	9	8	7	6	6	6	7	7	5	5	6	7
3	3	4	6	6	7	5	4	7	7	5	3	3	6	3	4	8	4	6	6	7	6	6	5
3	6	5	6	6	9	8	3	4	5	6	5	4	4	4	3	4	9	5	6	6	6	7	5
3	4	5	8	5	10	5	6	6	6	5	6	6	5	6	4	7	6	8	5	9	6	8	5
4	5	6	4	9	5	5	5	6	5	5	4	4	8	8	6	6	9	6	4	10	7	7	4
8	5	8	6	10	6	8	5	7	6	5	4	4	9	4	4	7	8	7	5	6	6	7	4
4	8	8	6	9	4	8	5	6	5	4	4	5	6	5	3	4	5	9	5	7	7	6	6
4	4	10	4	8	4	4	10	6	7	6	7	4	5	8	6	6	6	6	7	5	4	6	10
5	4	6	6	6	6	10	4	5	5	6	4	6	7	6	4	7	7	7	4	8	6	4	8
5	5	5	9	6	5	4	5	5	9	6	6	4	4	4	6	4	6	8	8	7	7	8	7
8	6	6	5	7	5	5	4	10	8	5	6	6	8	7	4	6	8	8	6	6	7	6	9
3	5	4	6	6	5	6	8	4	6	7	5	4	6	8	4	4	6	4	7	6	5	5	7
4	5	5	8	7	7	4	6	4	5	4	6	5	6	6	6	5	7	10	7	7	3	6	7
3	7	6	9	6	9	7	3	7	5	4	6	4	6	4	8	5	9	4	7	5	5	6	6
5	4	6	7	8	10	5	4	4	6	5	5	6	5	5	6	7	6	5	5	5	5	5	6
7	4	6	6	6	5	7	9	5	7	6	7	4	7	6	7	8	6	6	5	4	6	6	5
4	7	3	6	5	6	8	8	5	5	5	7	3	7	4	8	8	9	4	8	4	7	7	4
5	6	5	6	6	6	5	9	4	6	6	8	5	5	6	5	7	6	7	3	8	6	6	8
5	8	8	6	6	5	7	5	6	5	6	6	7	5	4	4	6	8	5	4	8	6	9	8
4	7	5	7	6	9	10	4	4	6	7	6	6	8	6	6	4	7	7	3	4	6	5	4
4	7	5	6	8	6	4	6	4	7	5	6	4	4	4	4	3	6	8	5	6	6	8	
6	5	4	7	7	10	7	4	7	4	6	5	5	4	4	6	10	5	5	7	6	6	7	
5	5	6	8	5		4	4	5	6	6	7	8	4	5	8	6	9	7	4	6	5	8	
6	6	8	8	5		6	4	9	7	7	4	7	6	7	7	4	7	10	5	8	3	6	
6	7	6	8	5		7	5	6	7	7	9	6	6	7	4	8	8	4	5	5	8	6	
9	7	7	5	4		6	4	6	5	10	6	6	9	6	5	7	6	7	4	5	10	5	
5	4	7	6	4		7	4	4	3	8	5	8	10	5	5	6	6	4	4	5	6	6	
5	6	5	8	6		5	4	4	5	6	6	4	7	4	6	4	8	6	6	6	7	6	
3	5	10	8	5		6	5	4	5	6		5	5	6	4	6	6	7	5	6	6	6	
7	5	4	7	5		4	5	6	6	7		4	9	4	4	10	4	6	8	6	8	8	

Lampiran 18 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Dupak 3 Gardu 2

Gardu 2																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
4	4	7	6	5	5	5	9	4	9	5	7	4	7	6	6	6	6	8	10	8	6	6	3
4	5	7	4	8	6	4	4	4	7	6	7	5	8	5	4	4	6	4	8	6	4	7	3
4	4	8	5	6	7	4	5	3	4	7	5	6	6	10	8	8	7	6	5	4	7	5	7
5	6	5	9	7	6	5	6	3	4	4	8	8	9	6	3	8	5	4	4	8	5	6	8
8	7	6	8	4	6	5	4	7	5	6	4	4	4	6	6	5	6	6	6	7	4	7	10
6	7	5	6	5	6	5	6	8	6	7	7	5	10	7	4	6	7	4	5	9	10	8	6
10	7	6	5	5	4	8	6	10	4	7	9	6	6	5	6	4	5	5	7	5	7	4	4
4	8	5	7	6	4	4	4	5	4	5	6	4	7	8	4	5	6	6	5	6	9	7	7
5	6	4	8	5	6	5	4	4	7	4	4	6	5	9	8	5	6	4	8	6	4	6	8
4	6	4	5	3	5	4	5	4	4	5	6	5	8	8	6	9	6	5	6	6	5	6	6
4	5	8	5	4	8	5	5	5	5	4	6	4	8	6	4	4	8	6	4	5	4	6	7
6	8	5	6	5	7	4	7	6	5	5	8	6	4	4	6	8	7	4	3	7	6	8	7
7	9	6	4	9	6	9	8	5	4	6	10	4	5	4	4	5	5	6	6	8	8	5	8
5	6	4	5	4	6	5	7	6	6	10	6	6	4	9	8	6	8	4	4	6	6	7	5
8	7	10	5	4	5	6	6	4	4	5	6	7	8	7	5	4	6	8	6	4	6	6	6
8	5	4	4	5	4	5	5	5	4	6	6	8	7	8	9	6	4	6	7	6	7	6	6
4	5	4	7	5		6	7	7	7	7	6	5	4	6	10	6	7	7	7	5	5	5	7
5	8	5	4	6		8	4	7	5	5	7	6	6	6	5	5	8	7	5	4	7	7	9
5	6	6	6	5		8	5	5	9	7	4	4	4	6	6	7	6	4	6	8	4	9	6
5	7	5	5	6		7	5	4	6	8	8	6	8	8	7	9	4	6	4	3	6	6	6
6	8	6	5	7		3	4	6	6	7	8	4	6	5	4	6	4	5	6	6	6	8	9
8	5	6	5	7		7	10	5	4	6	7	5	4	6	8	8	9	4	4	4	4	7	
7	5	8	4	5		4	4	8	4	9	9	6	6	6	7	7	6	5	6	8	5	6	
5	6	5	6	6		5	5	5	4	8	5	4	4	8	6	7	5	6	4	6	10	5	
5	5	6	7	4		4	5	4	6	8	5	8	5	7	9	4	6	4	8	7	6	7	
7	4	7	5	8		5	4	5	4	7	6	4	4	4	5	5	8	8	6	5	7	4	
6	5	7	3	9		10	6	4	5	5	9	5	6	6	6	3	8	4	7	5	4	5	
5	6	5	6	6		4	6	5	5	4	8	6	4	4	5	6	4	6	5	5	5	6	
5	4	5	4	9		7	5	4	7	7	4	6	6	8	5	10		7	6	6	4	4	
10	6	4	5	8		8	6	8	6	6	8	4	6	4	5	9		9	4	4	6	4	



Lampiran 19 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Dupak 3 Gardu 3

Gardu 3																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
4	5	5	6	8	5	7	6	4	6	7	5	4	4	6	4	8	5	6	6	5	7	7	9
5	6	8	6	6	6	4	5	4	6	5	7	5	5	7	6	5	3	5	6	6	8	6	6
5	4	9	4	6	5	6	7	5	6	6	6	6	5	6	7	7	5	4	4	7	7	8	6
5	5	6	4	8	6	7	5	4	5	5	6	4	6	9	5	7	5	4	6	5	6	7	7
6	9	9	6	4	4	6	9	6	6	6	6	6	6	5	8	7	10	4	4	6	6	10	6
8	8	8	5	6	5	7	8	6	8	5	7	5	4	8	6	6	7	6	7	6	6	6	5
7	6	5	8	6	5	5	6	6	5	9	7	4	6	6	6	3	7	4	5	6	7	7	7
5	5	6	7	4	8	6	5	6	7	6	5	6	6	6	4	9	6	5	4	4	5	4	4
5	7	7	6	6	4	4	5	7	5	5	4	4	8	4	4	7	6	4	4	5	5	5	6
7	8	5	6	9	4	5	3	4	6	4	5	6	7	4	4	6	4	6	5	7	5	4	6
4	5	4	8	6	5	4	5	6	6	7	4	7	6	4	7	8	6	4	6	7	10	6	6
5	8	6	6	8	6	3	8	8	4	7	5	8	8	4	6	7	5	5	5	8	7	6	6
5	6	4	5	8	6	6	5	5	4	6	6	5	6	4	6	8	4	4	5	6	8	7	4
5	7	5	6	7	5	5	5	5	6	10	6	6	6	5	6	6	4	6	7	4	8	4	5
6	9	6	6	5	5	5	8	4	8	4	5	6	4	4	6	6	4	6	6	6	8	3	5
8	6	7	6	6	5	5	8	8	7	5	6	4	5	7	7	6	5	5	4	6	10	4	8
7	6	6	8	6	7	6	4	3	6	5	7	4	6	6	6	7	8	6	5	8	6	4	9
5	7	6	7	5	9	6	10	5	9	5	4	4	6	4	7	5	5	6	4	5	7	8	8
5	4	6	5	4	10	6	4	6	5	4	6	6	5	10	8	5	7	6	4	6	5	4	6
7	6	8	5	6	5	6	5	6	8	6	7	5	6	7	8	5	4	8	5	6	6	4	6
6	5	6	6	7	6	5	6	6	6	6	7	6	9	6	8	10	6	4	7	6	6	6	
6	6	10	5	5	5	6	4	6	7	6	6	6	6	4	9	7	4	9	6	8	6	5	
6	4	6	6	3	4	5	7	5	6	6	6	5	6	6	5	8	6	5	6	4	8	5	
6	5	8	6	6	6	4	5	5	6	6	6	5	4	4	6	8	6	5	8	9	7	7	
5	9	9	6	4	6	6	5	8	6	6	6	4	5	5	6	7	6	6	8	5	5	7	
5	8	7	6	6	7	5	8	5	8	7	6	6	6	7	7	5	6	4	5	8	8		
4	6	6	4	6	5	6	6	6	5	6	5	5	4	6	7	10	5	5	6	6	5		
6	5	6	5	7	6	6	6	6	6	4	7	7	6	8	6	4	6	6	6	8	6		
6	7	6	3	4	6	6	6	6	6	4	8	6	5	6	4	4	7	6	5	7	6		
7	8	5	10	6	5	5	5	4	6	8	10	7	6	6	9		5	7	6	8	7		

Lampiran 20 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Dupak 3 Gardu 4

Gardu 4																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
6	6	6	8	6	6	5	6	5	5	5	5	5	8	6	5	7	5	6	5	8	9	7	4
4	4	7	6	6	7	5	8	9	6	5	6	6	8	5	6	7	10	8	8	10	7	7	8
4	5	5	7	6	9	4	5	5	5	6	4	6	8	5	5	6	7	7	9	9	6	8	10
6	4	8	9	6	7	6	9	5	8	5	4	6	9	6	7	3	8	8	5	7	4	6	6
5	6	9	6	4	7	5	10	5	4	6	6	8	10	7	6	9	8	7	5	8	7	4	5
7	4	6	6	5	6	5	5	6	6	5	8	4	9	5	6	7	7	6	7	8	5	6	8
8	5	7	7	3	4	8	4	6	5	5	7	9	5	6	8	6	7	8	8	7	6	6	6
5	6	7	4	10	4	6	6	4	4	5	6	5	6	8	4	8	7	7	3	6	6	8	7
6	7	5	6	6	5	5	5	9	6	6	9	5	6	5	4	7	5	4	9	7	4	4	4
9	6	8	5	7	4	5	8	7	5	6	5	6	6	9	9	8	6	9	8	6	5	8	6
8	5	5	6	5	8	5	8	5	6	7	8	6	5	10	5	5	4	5	8	8	5	6	6
8	4	7	5	6	4	6	6	6	6	8	6	5	6	5	3	4	5	8	7	7	8	6	6
5	8	4	6	7	5	4	6	7	6	7	6	6	7	4	5	4	7	4	5	6	9	4	5
6	9	4	4	4	5	5	6	5	5	4	4	6	5	6	5	6	9	4	6	6	8	4	6
8	10	4	6	7	5	5	7	8	4	6	4	6	6	5	10	7	4	6	4	8	6	7	6
4	6	5	8	5	4	6	4	9	4	6	5	4	6	8	7	5	6	5	3	8	6	6	5
5	7	6	7	9	6	4	9	6	3	4	5	6	4	5	7	5	6	5	4	4	4	6	6
4	3	6	5	7	6	5	6	7	7	4	4	9	6	9	6	7	7	7	4	5	6	5	6
6	5	5	6	5	7	5	5	7	5	6	7	5	5	5	6	7	9	7	8	3	6	3	9
4	6	8	4	6	10	6	6	5	6	6	4	6	6	5	5	7	5	7	4	6	8	4	5
4	9	6	9	4	6	6	6	5	6	8	5	8	7	6	4	6	5	6	4	5	5	9	6
6	8	6	8	7	6	6	6	5	6	6	8	9	6	6	6	3	6	8	6	5	5	6	4
5	8	6	9	5	6	6	4	5	5	6	6	7	5	6	5	9	6	8	5	7	4	6	
5	7	5	6	4	6	5	5	6	6	4	6	6	4	6	4	7	7	4	5	6	9	5	
7	4	7	5	6	6	5	4	4	8	4	5	6	5	8	4	6	5	7	7	6	4	6	
6	6	5	4	6	6	4	4	6	5	5	4	6	5	4	4	6	8	5	7	8	4	6	
6	6	5	7	5	6	6	7	6	7	6	5	6	8	6	5	6	6	6	7	4	5	5	
8	6	4	5	5	6	6	3	4	5	5	4	7	7	7	8	7	6	6	6	4	4	5	
7	5	6	6	5	7	8	6	6	6	6	5	6	6	5	5	5	8	4	8	5	6	7	
9	6	6	5	4	5	5	6	6	7	6	4	7	5	6	7	5	6	5	7	4	6	4	



Lampiran 21 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Dupak 3 Gardu 7 (GTO)

Gardu 7 (GTO)																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
4	4	5	5	4	5	6	4	8	5	5	6	6	5	5	7	5	6	5	7	7	6	6	6
5	5	6	5	4	3	4	5	3	6	6	6	6	6	7	5	4	5	6	6	5	4	6	5
4	6	4	5	4	5	5	4	4	4	5	5	5	5	6	4	6	6	6	6	5	5	4	5
5	4	5	5	5	4	6	6	4	5	5	5	6	4	6	4	6	6	3	5	6	6	5	4
5	4	6	5	4	6	4	4	6	6	6	4	8	4	5	6	5	4	6	5	4	7	6	5
4	6	6	5	3	4	4	4	4	6	3	4	6	3	4	3	4	5	6	5	4	6	6	5
4	4	4	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	4	5	6	4	4	6	6	6	4	5
5	5	5	5	6	5	6	6	6	7	4	4	4	5	5	3	7	4	4	5	6	8	5	6
4	4	6	5	5	4	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	5	6	3	6	6	5	4
4	4	4	5	5	5	8	5	7	5	4	6	6	6	5	6	5	6	7	6	7	7	4	4
6	6	5	5	4	6	5	3	4	6	6	4	4	5	6	4	4	6	6	6	5	5	6	5
4	4	5	5	5	4	6	5	5	5	5	6	4	4	5	4	6	7	4	7	7	4	6	4
5	5	6	4	6	5	6	6	4	5	5	6	5	4	7	4	4	3	4	5	3	3	5	5
4	4	5	5	6	5	7	4	6	6	5	4	6	4	6	5	4	6	5	5	6	5	4	5
5	6	4	5	5	5	6	4	5	6	5	4	4	5	9	6	5	4	4	4	5	6	5	5
4	4	5	6	3	6	6	4	6	4	4	5	5	6	5	6	6	6	6	4	4	6	5	4
5	4	6	4	5	4	6	5	5	6	6	6	4	6	6	5	5	5	6	6	4	4	5	4
4	5	4	5	5	8	5	5	3	5	4	4	5	3	4	6	5	6	5	4	10	4	4	6
6	6	5	4	3	6	4	6	6	5	4	4	4	6	5	6	4	6	6	5	5	5	4	5
6	4	6	4	5	6	5	6	4	4	5	6	4	5	6	6	4	6	6	5	6	6	4	
4	4	5	5	6	4	5	5	5	5	6	4	6	6	5	4	5	5	4	6	6	5	5	5
4	6	6	6	4	7	6	4	4	6	5	5	5	6	5	6	6	4	6	4	3	6	4	
5	4	4	6	5	4	6	4	5	5	5	5	4	5	6	6	6	4	6	4	4	6	4	
8	6	4	6	3	6	6	6	5	5	5	5	5	6	5	4	6	5	5	4	4	4	5	
6	4	6	7	5	4	5	4	6	6	6	6	6	4	4	5	5	4	5	5	5	6	4	
6	4	6	6	4	5	5	5	5	5	5	5	3	5	6	6	4	5	6	4	5	5	6	
4	4	5	4	6	5	5	4	5	5	5	5	5	6	6	7	4	6	6	6	5	5	5	
4	3	5	5	6	6	5	5	5	6	4	5	3	5	5	5	5	4	6	6	5	4		
5	6	6	5	5	4	4	6	6	6	6	6	5	6	4	4	4	4	4	3	4	4	7	
6	4	6	6	4	5	5	5	4	5	6	6	6	6	5	4	7	5	4	6	8	6		

Lampiran 22 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Dupak 3 Gardu 9

Gardu 9																							
15.00-16.00						16.00-17.00						17.00-18.00						18.00-19.00					
4	5	10	7	6	10	5	6	6	5	5	5	6	4	6	4	8	5	6	6	7	7	7	9
4	6	6	4	4	6	5	5	7	7	4	4	4	5	4	6	5	3	5	6	6	8	6	6
8	8	6	6	7	7	6	5	6	5	6	5	5	5	5	7	7	5	4	4	4	8	8	6
4	4	6	5	5	7	5	7	5	6	7	6	4	6	8	5	7	5	4	6	7	7	7	7
4	4	4	9	9	5	6	6	5	9	5	6	4	6	5	8	7	10	4	4	5	6	10	6
6	5	8	6	4	4	6	6	4	6	6	8	4	4	4	6	6	7	6	7	6	7	6	5
6	5	6	8	6	4	7	5	4	5	4	4	5	6	6	6	3	7	4	5	6	6	7	7
4	5	4	5	6	4	5	4	8	5	8	9	5	6	5	4	9	6	5	4	4	8	4	4
6	6	7	6	6	6	8	7	5	6	6	5	6	8	7	4	7	6	4	4	5	7	5	7
4	7	6	6	6	5	6	5	4	4	6	5	5	7	5	4	6	4	6	5	7	7	4	6
5	5	5	6	5	8	9	4	6	5	9	4	6	6	4	7	8	6	4	6	7	7	6	6
6	8	6	4	7	6	4	4	6	6	5	5	4	8	4	6	7	5	5	5	8	6	6	6
10	6	4	5	5	6	8	6	5	6	5	10	5	6	4	5	8	4	4	5	6	8	7	6
4	6	4	5	8	9	4	6	5	5	4	6	6	6	5	6	6	4	6	7	4	7	4	5
6	6	5	5	5	6	6	5	5	4	4	5	6	4	4	5	6	4	6	6	6	8	3	6
4	4	6	10	6	5	6	5	6	5	10	6	4	5	7	5	6	5	4	4	6	10	4	6
4	6	4	7	6	4	4	6	6	6	5	6	4	6	6	4	7	8	4	5	8	9	4	6
5	4	5	5	4	7	4	5	6	6	5	9	4	6	4	4	5	5	5	4	4	5	8	8
6	4	6	6	7	5	5	7	8	4	6	6	6	5	10	7	5	7	5	4	8	6	4	4
6	8	5	5	6	6	6	5	6	6	4	6	5	6	7	6	5	7	6	5	5	4	4	9
6	5	6	5	8		3	10	5	9	5	5	6	9	6	6	10	5	4	7	6	3	6	5
5	7	4	7	5		4	8	6	6	5	5	6	6	7	6	7	8	4	6	6	4	5	
6	6	6	6	9		10	4	6	8	6	6	5	6	6	5	8	6	4	6	6	4	5	
6	6	4	6	4		5	9	6	6	6	6	5	4	7	6	8	6	8	8	6	8	7	
7	4	4	9	4		6	6	6	4	6	7	4	5	8	6	7	4	4	5	8	6	4	7
10	6	8	6	6		6	6	4	4	7	8	6	6	8	7	7	4	5	4	4	4	8	
6	4	5	8	5		8	5	5	8	5	7	5	5	8	6	7	4	4	5	5	6	5	
4	5	7	6	7		5	4	3	4	8	4	7	6	9	6	4	7	4	3	4	8	6	
5	5	6	6	9		7	8	6	6	4	6	6	5	6	4	4		4	6	4	7	6	
5	6	5	5	6		6	5	6	6	5	7	10	7	6	6	9		5	9	5	8	7	



## BIODATA PENULIS



Ilham Mustika Aji Sumantri dilahirkan di Sidoarjo, 18 Mei 1992. Anak ketiga dari tiga bersaudara ini telah menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyah 1-2 Taman, SMP Negeri 24 Surabaya, dan SMA Muhammadiyah 2 Surabaya. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2010 dan lulus pada tahun 2016.

Di Jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil tugas akhir pada bidang transportasi, khususnya tentang lalu lintas dengan judul “Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan Gerbang Tol Waru-Tanjung Perak”. Penulis sempat mengikuti berbagai kegiatan kepanitiaan dan beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Sipil maupun institut.

Ilhamustikaji.18@gmail.com